

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial

**CONCEPÇÃO E PROJECTO DE UM SISTEMA PARA MEDIÇÃO DE CAUDAL DE
GÁS**

Bruno Noel Fernandes do Espírito Santo
(Licenciado)

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica
(2º Ciclo)

Orientação

Orientador científico: Professor Doutor Rui Fernando dos Santos Pereira Martins

Co – Orientador: Dr.^a Elsa Maria Isqueiro Batista

Lisboa

Junho de 2009

*Aos meus Pais, por tudo que sempre me ofereceram,
principalmente o carinho, o respeito e educação*

Agradecimentos

Embora saiba que me é impossível agradecer a todos os que me ajudaram a realizar este trabalho, quero deixar aqui um agradecimento especial aos que de mais perto me apoiaram.

- A toda a minha família e amigos, pelo apoio, paciência e confiança, sem os quais não teria conseguido realizar este trabalho.
- Ao Professor Doutor Rui Martins, Professor Auxiliar do Departamento Engenharia Mecânica e Industrial da F.C.T. - U.N.L., meu Orientador científico, pela sua inextinguível transmissão de conhecimentos e revisão do trabalho realizado.
- À Dr.^a Elsa Baptista, responsável pelo Laboratório de Volume do Instituto Português da Qualidade, minha Co - Orientadora, o qual me possibilitou a realização do estágio curricular, apoio prestado e companheirismo demonstrado.
- Ao Eng.^o Jorge Manuel Diogo Marques dos Santos, Presidente do Conselho de Administração do Instituto Português da Qualidade, o qual me possibilitou a realização do estágio curricular.
- Ao Professor António Paulo Vale Urgueira, Presidente do Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, pela sua disponibilização e interesse demonstrado pelo pedido de realização do estágio curricular.
- A todos os membros do Instituto Português da Qualidade, pelos conhecimentos partilhados.
- A todas as pessoas que embora não nomeadas contribuíram para a realização deste trabalho, o meu maior obrigado.

Resumo

O principal objectivo da tese que se apresenta consistiu em projectar um Padrão Nacional Primário de gás com as características funcionais e metrológicas necessárias para calibrar controladores de caudal mássico a um nível de padrão primário.

O padrão foi projectado tendo por base o princípio da medição volumétrica, que consiste em medições de volume de gás deslocado e do tempo de passagem do mesmo, para as condições de temperatura e de pressão medidas no interior da câmara de gás, de tal modo a determinar o caudal de gás de composição conhecida.

O padrão deve permitir calibrar controladores até um caudal de 12 l/min, a temperatura e pressão controladas. O procedimento sequencial e o fluxograma do processo de calibração é apresentado no documento, assim como a estimativa das incertezas associadas ao funcionamento do padrão, tendo por base as incertezas parciais da resolução dos equipamentos.

O desenho de conjunto e os desenhos das peças constituintes do padrão são apresentados bem como a formulação associada à determinação dos custos de fabrico.

Abstract

The main objective of the thesis consists to develop a National Primary Standard of Gas with functional and metrological characteristics required to calibrate mass flow controllers in a level of request of a primary standard.

The standard was developed by the basics of the volumetric measure, which it consists the measures of the volume of gas passed and its time, for a temperature and pressure conditions sounded inside of the gas camera, to determinate the gas flowrates of a known composition.

The prover should permit to calibrate controllers until 12 l/min of flow, in controlled temperatures and pressures.

The sequential process and the flowchart of the calibration process is presented in the document as well as the estimation of all uncertainties related when operating based on the resolution of all equipments.

The assembled drawing and individual pieces drawings of the standard are presented as well a formulation of the estimation of its coasts.

Abreviaturas

| | |
|---------|--|
| BIPM | <i>Bureau International des Poids et Mesures</i> |
| CT | Comissão Técnica |
| CEN | Comité Européu de Normalização |
| CENELEC | Comité Européu de Normalização Electrotécnica |
| CMC | <i>Calibration and Measurement Capabilities</i> |
| DRE | Direcção Regional do Ministério da Economia |
| ETSI | Instituto Europeu de Normalização para as Telecomunicações |
| EMA | Erro Máximo Admissível |
| EURAMET | <i>European Collaboration in Measurement</i> |
| IEC | Comissão Electrotécnica Internacional |
| IPQ | Instituto Português da Qualidade |
| IPAC | Instituto Português de Acreditação |
| ISO | <i>International Standard Organization</i> |
| LCM | Laboratório Central de Metrologia |
| LOX | Oxigénio Líquido |
| LPG | <i>Liquefied Petroleum Gas</i> |
| LVO | Laboratório de Volume |
| NP | Norma Portuguesa |
| ONN | Organismo Nacional de Normalização |
| OVM | Organismo de Verificação Metrológica |
| R&I | Reparador e Instalador de Instrumentos de Medição |
| SMM | Serviço Municipal de Metrologia |
| SPQ | Sistema Português da Qualidade |

Índice de Matérias

| | |
|--|------|
| <i>Índice de Figuras</i> | viii |
| <i>Índice de Tabelas</i> | x |
| <i>Capítulo 1. Objectivos e Descrição da Organização da Tese</i> | 1 |
| <i>Capítulo 2. Estruturas da Qualidade em Portugal</i> | 2 |
| 2.1. O Sistema Português da Qualidade e o Instituto Português da Qualidade | 2 |
| 2.2. Metrologia | 4 |
| <i>Capítulo 3. Calibração de instrumentos de medição de volume</i> | 7 |
| 3.1. Calibração de Recipientes Graduados | 9 |
| 3.1.1. Gravimetria..... | 9 |
| 3.1.2. Volumetria..... | 10 |
| <i>Capítulo 4. Tipos de Padrão para Controlar Fluxo de Gás</i> | 12 |
| <i>Capítulo 5. Propriedades gerais</i> | 19 |
| 5.1. Gás Perfeito | 19 |
| 5.2. Gases Reais..... | 20 |
| <i>Capítulo 6. Metodologia para o Dimensionamento do Padrão Nacional de Controlo de Fluxo</i> | 23 |
| 6.1. Cálculo do tempo de subida do êmbolo..... | 23 |
| 6.2. Procedimento sequencial do processo de calibração de controladores de fluxo | 25 |
| 6.3. Análise de Sensibilidade às variáveis de entrada | 27 |
| 6.4. Cálculo de Incertezas do Sistema Mecânico e de Instrumentação instalados..... | 31 |
| 6.4.1. Avaliação da Incerteza de Medição de Estimativas das Grandezas de Entrada..... | 31 |
| 6.4.2. Avaliação de Tipo B da Incerteza-Padrão | 31 |
| 6.4.3. Cálculo da Incerteza-Padrão da Estimativa da Grandeza de Saída | 32 |
| 6.4.4. Incerteza de Medição Expandida..... | 34 |
| 6.4.5. Procedimento Sequencial de Cálculo da Incerteza de Medição | 35 |
| 6.5. Cálculo das forças existentes no êmbolo | 39 |
| 6.6. Instalação do circuito de água | 50 |
| 6.7. Sistema de Instrumentação | 60 |
| 6.7.1. Estrutura de um controlador programável..... | 61 |
| 6.7.2. Utilização do autómato..... | 61 |
| 6.7.3. Processador..... | 62 |
| 6.7.4. Interface Entradas/Saídas | 63 |

| | |
|---|-----------|
| 6.7.5. Programação de Autómatos..... | 63 |
| Capítulo 7. Orçamentação | 66 |
| 7.1. Os elementos fundamentais de que depende o orçamento | 66 |
| 7.1.1. As matérias – primas | 66 |
| 7.1.2. A mão-de-obra..... | 67 |
| 7.1.3. Tempos de trabalho | 68 |
| 7.1.4. Operações manuais..... | 69 |
| 7.1.5. Operações mecânicas..... | 69 |
| 7.2. Cálculo do orçamento do Sistema Mecânico | 71 |
| 7.2.1. Tempo de trabalho no torneamento | 71 |
| 7.2.2. Tempo de trabalho na furação | 72 |
| 7.2.3. Tempo e características económicas de soldadura | 74 |
| 7.3. Orçamentação do piston-prover..... | 75 |
| 7.3.1. Matérias – Primas | 75 |
| 7.3.2. Mão-de-Obra | 76 |
| 7.3.3. Revestimentos..... | 77 |
| 7.3.4. Automação e Instrumentação | 77 |
| 7.3.5. Orçamento final | 78 |
| Capítulo 8. Conclusões | 79 |
| Referências Bibliográficas | 80 |
| Anexos | 83 |
| Desenhos do Projecto de Sistema Mecânico de Caudais Inferiores a 12 L/min de Gás | 83 |
| Valores práticos para os parâmetros de corte no torneamento | 84 |
| Valores práticos para os parâmetros de corte na furação | 85 |
| Tabela de Volume de metal depositado por metro de soldadura, topo-a-topo, com chanfro e reprise na raíz..... | 87 |
| Tabela prática, para soldadura topo-a-topo com chanfro e eléctrodos clássicos..... | 88 |
| Pesos de metal depositado, para diferentes tipos de eléctrodos em função do seu rendimento e dos seus diâmetros nominais..... | 89 |
| Valores práticos para os parâmetros de soldadura a semi-automática | 89 |
| Régua MISUMI KUA1505L–760–150 | 90 |
| Power Supply Unit CJ1W-PA202 | 92 |
| CPU CJ1M-CPU13..... | 95 |
| Unidade de E/S CJ1W-MAD42 | 97 |

| | |
|---|-----|
| Position Control Unit CJ1W-NC133 | 99 |
| Position Software WS02-NCTC1-E | 101 |
| Transmissor de pressão E913-023-B22R | 102 |
| Sensor de temperatura RTD (PT100) PR-10-2-100-1/4-6-E..... | 106 |
| Rotary Servo Drive SGD8-20DE-OY | 107 |
| Rotary Servo Motor SGMGH-20DCA6H-OY | 109 |
| Propriedades mecânicas do aço St 52-3 | 113 |
| Dimensionamento da parede cilíndrica e fundo circular | 114 |

Índice de Figuras

| | |
|--|-----------|
| <i>Fig. 1 – Diagrama do SPQ.....</i> | <i>2</i> |
| <i>Fig. 2 – Material volumétrico de vidro</i> | <i>6</i> |
| <i>Fig. 3 – Buretas automáticas e Micropipetas</i> | <i>6</i> |
| <i>Fig. 4 – Laboratório de Médios e Grandes Volumes</i> | <i>6</i> |
| <i>Fig. 5 – Recipientes graduados.....</i> | <i>6</i> |
| <i>Fig. 6 – Material de volumétrico utilizado pelos laboratórios</i> | <i>7</i> |
| <i>Fig. 7 – Diagrama de rastreabilidade.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Fig. 8 – Tipos de Padrão.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Fig. 9 – Gasómetro.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Fig. 10 – Método Gravimétrico.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Fig. 11 – Piston-Prover.....</i> | <i>15</i> |
| <i>Fig. 12 – Desenho técnico simplificado do Piston- Prover.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Fig. 13 – Gráfico da relação linear entre Volume e Temperatura a pressão constante.....</i> | <i>19</i> |
| <i>Fig. 14 – Gráfico das isotérmicas no plano pV.....</i> | <i>22</i> |
| <i>Fig. 15 – Fluxograma do processo de calibração.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Fig. 16 – Painel de simulação de introdução das variáveis de entrada e sua resposta</i> | <i>28</i> |
| <i>Fig. 17 – o’ring inserido no seu alojamento</i> | <i>39</i> |
| <i>Fig. 18 – Dimensões do o’ring e superfície de contacto</i> | <i>40</i> |
| <i>Fig. 19 – Pressão média de atrito saia do êmbolo-cilindro.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Fig. 20 – Diagrama de corpo livre do piston prover</i> | <i>43</i> |
| <i>Fig. 21 – Conjunto veio e porca de esferas.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Fig. 22 – Fotografia de uma porca de esferas</i> | <i>45</i> |
| <i>Fig. 23 – Tabela de cálculo do dimensionamento do sistema mecânico</i> | <i>48</i> |
| <i>Fig. 24 – Futuras instalações do piston-prover</i> | <i>50</i> |
| <i>Fig. 25 – Representação das entradas e saídas de água</i> | <i>51</i> |
| <i>Fig. 26 – Acessórios para a instalação de água</i> | <i>51</i> |
| <i>Fig. 27 – Troços para a instalação de água</i> | <i>52</i> |
| <i>Fig. 28 – Diagrama de Moody</i> | <i>54</i> |
| <i>Fig. 29 – Cilindro e suas pontas a diferentes temperaturas</i> | <i>55</i> |
| <i>Fig. 30 – Representação da distribuição de temperaturas no êmbolo.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Fig. 31 – Representação da distribuição de temperaturas no cilindro.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Fig. 32 – Representação das cotas do êmbolo e cilindro.....</i> | <i>58</i> |
| <i>Fig. 33 – Sequência de montagem dos componentes</i> | <i>65</i> |

| | |
|---|------------|
| <i>Fig. 34 – Parâmetros do torneamento</i> | <i>72</i> |
| <i>Fig. 35 – Parâmetros da furação</i> | <i>74</i> |
| <i>Fig. 36 – Valores nominais da tensão de cedência e da tensão de rotura para o aço St 52-3 (S355JO) de acordo com a EN 10025-2.....</i> | <i>113</i> |
| <i>Fig. 37 – Corpo cilíndrico e fundo circular sujeito a pressão.....</i> | <i>114</i> |

Índice de Tabelas

| | |
|---|-----------|
| <i>Tabela 1 – Padrões utilizados para calibrar os controladores de fluxo de gás por ordem crescente de capacidade.....</i> | <i>13</i> |
| <i>Tabela 2 – Tabela com diversos Tipos de Controladores e Medidores de fluxo de gás.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Tabela 3 – Tabela com diversos Tipos de Controladores e Medidores de fluxo de gás.....</i> | <i>18</i> |
| <i>Tabela 4 – Variação do valor do curso do êmbolo.....</i> | <i>28</i> |
| <i>Tabela 5 – Variação do valor do diâmetro do êmbolo.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Tabela 6 – Variação do valor da temperatura do gás.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Tabela 7 – Variação do valor da pressão do gás.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Tabela 8 – Variação do valor do caudal.....</i> | <i>30</i> |
| <i>Tabela 9 – Tabela de balanço da incerteza de medição.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Tabela 10 – Especificações fim de escala.....</i> | <i>37</i> |
| <i>Tabela 11 – Tabela de apresentação das grandezas, estimativas, incertezas-padrão, coeficientes de sensibilidade e contribuições para a incerteza-padrão.....</i> | <i>38</i> |
| <i>Tabela 12 – Dados técnicos do WS2.....</i> | <i>41</i> |
| <i>Tabela 13 – Características técnicas do piston-prover.....</i> | <i>48</i> |
| <i>Tabela 14 – Coeficientes de perda de carga singular.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Tabela 15 – Características e dimensões dos troços.....</i> | <i>52</i> |

Capítulo 1. Objectivos e Descrição da Organização da Tese

O trabalho apresentado pretende demonstrar o dimensionamento, processo de calibração e funcionamento de um padrão nacional para medição de pequenos caudais de gás.

O documento encontra-se organizado em 8 capítulos, cujo conteúdo se descreve em seguida:

Capítulo 2. Destina-se a conhecer as Estruturas da Qualidade do País, o Sistema Português da Qualidade, os Sistemas de Normalização, Qualificação e o Instituto Português da Qualidade. Pretende-se também, dar a conhecer as Estruturas da Metrologia em Portugal e o funcionamento do Laboratório Central de Metrologia.

Capítulo 3. Este capítulo tem como objectivo descrever sucintamente os procedimentos de calibração dos instrumentos de medição de volume, recorrendo aos conhecimentos de metrologia.

Capítulo 4. São apresentados neste capítulo os tipos de Padrão para controlo do fluxo de gás, assim como o seu funcionamento e aplicações.

Capítulo 5. Descrevem-se as propriedades gerais dos gases perfeitos, e a formulação associada às equações de equilíbrio mecânico e termodinâmico do sistema de medição (padrão).

Capítulo 6. Neste capítulo é apresentada toda a metodologia de dimensionamento do Padrão Nacional de controlo de fluxo de gás. É o capítulo chave onde se encontram descritas todas as equações de funcionamento do equipamento. É também apresentado o procedimento sequencial do funcionamento do padrão e o fluxograma da calibração dos controladores de fluxo. Encontra-se a análise de sensibilidade às variáveis de entrada e o cálculo de incertezas do padrão e por fim o modelo conceptual do padrão.

Capítulo 7. De acordo com os dados apresentados no capítulo anterior, é indicada a formulação associada à determinação dos custos de fabrico do equipamento.

Capítulo 8. São apresentadas as conclusões do trabalho realizado.

Anexo. Apresentam-se o desenho de conjunto e de peças do equipamento.

Capítulo 2. Estruturas da Qualidade em Portugal

2.1. O Sistema Português da Qualidade e o Instituto Português da Qualidade

O Sistema Português da Qualidade (SPQ) é o conjunto integrado de entidades e organizações inter-relacionadas e interactuantes que, seguindo princípios, regras e procedimentos aceites internacionalmente, congrega esforços para a dinamização da qualidade em Portugal e assegura a coordenação dos três subsistemas - da normalização, da qualificação e da metrologia - com vista ao desenvolvimento sustentado do País e ao aumento da qualidade de vida da sociedade em geral [1].

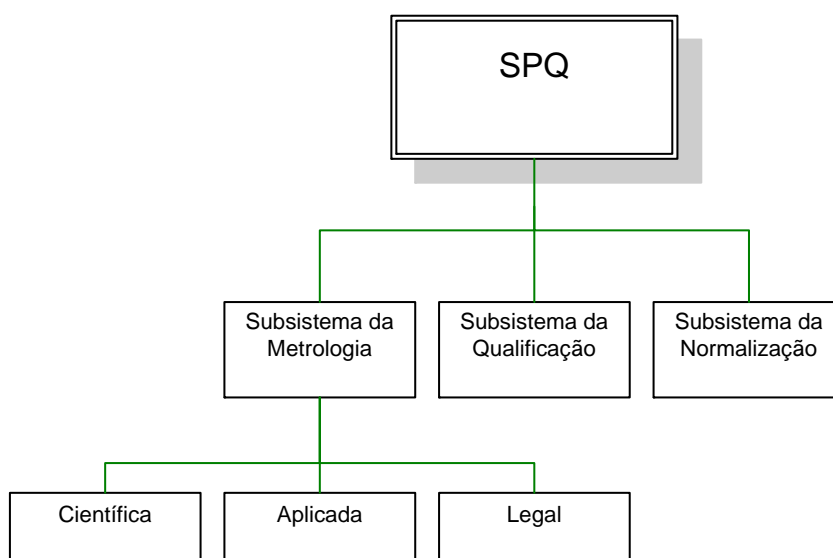


Fig. 1 – Diagrama do SPQ

Devido ao facto de se pretender, desenvolver uma metodologia de Projecto, apresenta-se em seguida o Instituto Português da Qualidade (IPQ), onde irá funcionar o padrão.

O IPQ é o organismo nacional que gere e desenvolve o Sistema Português da Qualidade - enquadramento legal de adesão voluntária para os assuntos da qualidade em Portugal. Assim, o IPQ assegura a representação portuguesa a nível internacional no domínio da Qualidade, mantendo estreito contacto com os seus congéneres europeus.

No âmbito do SPQ, o IPQ é responsável em Portugal pela normalização nacional, assegurando a articulação com os organismos europeus e internacionais de normalização, pelo Laboratório Central de Metrologia (LCM), pela informação técnica na área da qualidade. O Instituto também assegura a gestão de programas de apoio financeiro e intervém na cooperação com outros países, no domínio da Qualidade.

No âmbito regulamentar, o IPQ é ainda responsável pelo controle metrológico em Portugal e pelo processo comunitário de notificação prévia de normas e regras técnicas [1].

O Subsistema da Normalização é o subsistema do SPQ que enquadra as actividades de elaboração de normas e outros documentos de carácter normativo de âmbito nacional, europeu e internacional.

Compete ao IPQ, na sua qualidade de Organismo Nacional de Normalização (ONN), preparar, com base na informação recolhida junto das entidades interessadas, o Programa Anual de Normalização, bem como homologar as Normas Portuguesas.

As Normas Portuguesas são, em geral, elaboradas por Comissões Técnicas (CT) Portuguesas da Normalização, nas quais é assegurada a possibilidade de participação de representantes de todas as partes interessadas.

A coordenação das CT é assegurada pelo IPQ ou pela entidade portuguesa que o IPQ qualifica como Organismo com funções de Normalização Sectorial (ONS), o qual assume a responsabilidade de dinamizar as actividades normativas, em domínios específicos.

Os ONS devem proporcionar o apoio necessário ao regular funcionamento das CT constituídas nos respectivos domínios, promover a participação nacional nos Comitês Técnicos das estruturas europeias e internacionais de normalização e efectuar acções de divulgação das normas.

O IPQ, como ONN, é o representante de Portugal nas seguintes estruturas europeias e internacionais de normalização [1]:

- ISO;
- IEC;
- CEN;
- CENELEC;
- ETSI.

Assim, o IPQ assegura as ligações funcionais a estas estruturas e assume as responsabilidades nacionais no desenvolvimento dos processos normativos em causa, nomeadamente: divulgação de documentos normativos, emissão de pareceres e votações de Portugal, credenciação de peritos portugueses para as reuniões de normalização, bem como a implementação nacional de normas europeias.

O Subsistema da Metrologia é o subsistema do SPQ que garante o rigor e a exactidão das medições realizadas, assegurando a sua comparabilidade e rastreabilidade, a nível nacional e internacional, e a realização, manutenção e desenvolvimento dos padrões das unidades e medidas.

Procura o IPQ, disponibilizar à sociedade, serviços que capacitem a satisfazer as suas necessidades no âmbito da metrologia, nomeadamente [1]:

- Integra o LCM, formado pelos domínios de actividade do comprimento, força/pressão, massa, quantidade de matéria, temperatura, tempo/frequência,

electricidade, electroquímica e volume, laboratório a que se destina inserir o *Piston-Prover*;

- Integra o Serviço de Metrologia Legal, no qual se desenvolve a aprovação de modelos e execução de operações de verificação metrológica de instrumentos de medição, utilizados nomeadamente, nas transacções comerciais, segurança, saúde e ambiente;
- Coopera com os laboratórios de forma a garantir a realização das unidades do Sistema Internacional, e consequentemente, a rastreabilidade nacional e internacional das mesmas;
- Participa e promove exercícios de intercomparação, com vista à garantia da qualidade dos materiais de referência utilizados, das técnicas e procedimentos aplicados;
- Efectua calibrações de instrumentos de medição;
- Coordena e acompanha a actividade das entidades qualificadas, nas quais delegou competências, para a execução de operações de verificação metrológica, como sejam os Serviços Municipais de Metrologia (SMM), Reparadores e Instaladores de Instrumentos de Medição (R&I), e outros Organismos de Verificação Metrológica (OVM) e as próprias Direcções Regionais do Ministério da Economia (DRE), no âmbito de regulamentos metrológicos estabelecidos;
- Realiza acções de Formação em Metrologia.

2.2. Metrologia

A metrologia é essencial na investigação científica, sendo que esta é a base do desenvolvimento da própria metrologia. A ciência elimina as fronteiras do possível a todo o momento e a metrologia fundamental segue os aspectos metrológicos destas novas descobertas. Isto significa mais e melhores ferramentas metrológicas, que permitem aos investigadores a continuação das suas descobertas e apenas os domínios da metrologia que se desenvolvem podem continuar a ser parceiros da indústria e da investigação científica.

A metrologia está dividida em três categorias com diferentes níveis de complexidade e de exactidão:

- Metrologia Científica - tem como objectivo a organização e o desenvolvimento de padrões de medição e a sua manutenção.
- Metrologia Aplicada/Industrial - tem como objectivo assegurar o funcionamento adequado dos instrumentos de medição utilizados na indústria bem como nos processos de produção e ensaio.

- Metrologia Legal - A Metrologia Legal está relacionada com a exactidão das medições quando estas têm influência na transparência das transacções comerciais, saúde e segurança [2].

O LCM é responsável pela realização dos padrões nacionais das unidades de medida, pela rastreabilidade dos padrões de referência existentes no país, pela realização de ensaios de controle metrológico e apoio técnico à metrologia legal, pela realização de comparações internacionais e nacionais.

O LCM actua com base na NP EN ISO/IEC 17025 referente a Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração, o que facilita a cooperação entre laboratórios e outros organismos, a troca de informação e experiência e, ainda, a harmonização de normas e procedimentos.

O LCM é formado por dez domínios de actividade:

- Laboratório de Comprimento
- Laboratório de Fotometria, Radiometria e Radiofrequências
- Laboratório de Gases de Referência
- Laboratório de Massa
- Laboratório de Química - Física
- Laboratório de Temperatura
- Laboratório de Tempo e Frequência
- Laboratório de Electricidade
- Laboratório de Electroquímica
- Laboratório de Volume

O Laboratório de Volume do IPQ é considerado como topo da cadeia de rastreabilidade em Portugal na área do volume, ou seja

- Obtém rastreabilidade do LCM, dos padrões nacionais (massa, temperatura);
- Presta serviço nas áreas de volume;
- Participa regularmente nas comparações do *European Collaboration in Measurement* (EUROMET) e tem coordenado comparações nacionais em colaboração com o Serviço de Acreditação do IPQ;
- Tem CMC's (*Calibration and Measurement Capabilities*) publicadas na base de dados do *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM);
- Em conjunto com as universidades desenvolve vários trabalhos de validação
- Realiza melhoramento dos métodos de calibração.
- Calibração de pequenos volumes;

- Calibração de médios e grandes volumes;

No Laboratório de Pequenos volumes efectua-se as calibrações de material volumétrico de vidro (Fig. 2) até 2 l e buretas com êmbolo e micropipetas (Fig. 3).



Fig. 2 – Material volumétrico de vidro



Fig. 3 – Buretas automáticas e Micropipetas

No laboratório de Grandes volumes (Fig. 4) são calibrados recipientes de volume graduados (Fig. 5) e volumétricos até 4000 l por volumetria ou gravimetria [2].



Fig. 4 – Laboratório de Médios e Grandes Volumes



Fig. 5 – Recipientes graduados

Capítulo 3. Calibração de instrumentos de medição de volume

A calibração de instrumentos volumétricos (Fig. 6), visando a quantificação de diferenças, entre o valor nominal e o valor verdadeiro, é do ponto vista tecnológico de grande interesse, porque contribui para a compreensão dos erros sistemáticos do processo analítico de medição, sendo assim possível proceder à sua correcção.

Os principais utilizadores de material volumétrico são laboratórios químicos, analíticos e farmacêuticos.



Fig. 6 – Material de volumétrico utilizado pelos laboratórios

Uma medição, qualquer que seja o nível de rigor com que é executada, deve conduzir a um valor e a uma medida do rigor com que foi efectuada.

A calibração de equipamentos deve ser entendida como um meio de confirmar e garantir a sua aptidão para efectuar medições com a qualidade requerida.

São conjuntos de operações que estabelecem, em condições especificadas, a relação entre valores de grandezas indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida materializada ou um material de referência e os correspondentes valores realizados por padrões.

O resultado de uma calibração tanto permite a atribuição de valores das mesuradas às indicações, como a determinação de correcções relativas às indicações.

A calibração pode também ser utilizada para determinar outras propriedades metrológicas, tal como o efeito das grandezas de influência.

Existem 3 razões principais para se utilizarem instrumentos calibrados [3]:

- 1) Determinar a exactidão das leituras do instrumento;
- 2) Estabelecer a fiabilidade do instrumento;
- 3) Assegurar a rastreabilidade da medição.

A calibração permite identificar o erro de indicação do instrumento de medição e em alguns caso permite corrigi-lo.

O erro de indicação corresponde à diferença entre a indicação de um instrumento de medição e o valor verdadeiro da correspondente grandeza de entrada.

Para se efectuar a aceitação de erros deve-se ter em conta a incerteza de calibração

$$| erro | + | incerteza | \leq | EMA | \quad \text{Eq.(3.1)}$$

Outra informação muito importante obtida através da calibração de um instrumento de medição é a incerteza:

$$\text{Valor da mensuranda} \pm \text{incerteza} \quad \text{Eq.(3.2)}$$

A incerteza é o parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos à mesurada.

As componentes da incerteza podem ser [3]:

- Equipamento;
- Condições ambientais;
- Técnicos;
- Padrões;
- Constantes e dados;
- Expressões de cálculo;
- Método.

A qualidade e fiabilidade dos resultados analíticos estão em parte dependentes dos instrumentos utilizados pelo que é de extrema importância a sua calibração.

- O material volumétrico deve estar calibrado, quando tal seja requerido pela norma de ensaio em que é usado, ou quando tenha influencia directa no resultado do ensaio.

O material volumétrico utilizado para fins metrológicos deve cumprir uma das seguintes alíneas:

- Calibrado por entidades competentes;
- Calibrado internamente recorrendo a procedimentos adequados;
- Quando o material volumétrico é calibrado por um laboratório de nível hierarquicamente superior pode ser considerado um padrão de referência.

A definição de massa volúmica de líquidos é a razão entre a massa de dado volume de líquido e esse volume (massa da unidade de volume do líquido), a uma dada temperatura exprime-se em kg/m^3 ou g/cm^3 (g/ml) e o seu símbolo é o ρ .

No Sistema Internacional a unidade da grandeza derivada volume é o metro cúbico, m^3 . Para pequenos volumes deve utilizar-se o seu submúltiplo, o centímetro cúbico, cm^3 , ou a unidade equivalente, o mililitro, ml.

No Sistema Internacional, a unidade da grandeza base massa, é o quilograma, kg. Para pequenas massas deve utilizar-se o seu submúltiplo, o grama, g.

As técnicas gerais para tal, consiste na estabilização da temperatura que é um factor muito importante, pois é necessário que a água contida no padrão de volume esteja à temperatura de $(20 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$.

Para garantir a estabilização, é necessário que o recipiente a calibrar, bem como a água que se vai utilizar na sua calibração sejam colocados na sala dos ensaios com temperatura controlada a $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$, com 24 horas antes da realização dessa calibração, para que se atinja o equilíbrio com a temperatura ambiente.

Os factores cruciais para garantir a exactidão das calibrações realizadas são uma correcta medição da temperatura utilizando os termómetros adequados e uma correcta medição da massa.

Para evitar qualquer tipo de contacto ou variações de temperatura que possam introduzir erros no resultado das calibrações, o operador deve manusear o recipiente a calibrar o mínimo tempo possível [3].

3.1. Calibração de Recipientes Graduados

Os recipientes graduados podem ser calibrados utilizando dois métodos distintos: Gravimetria ou Volumetria.

3.1.1. Gravimetria

A gravimetria é a determinação da massa do líquido escoado ou contido no recipiente a calibrar utilizando a fórmula descrita na ISO 4787 - Laboratory glassware - Volumetric glassware - Methods for use and testing of capacity

O procedimento para a determinação do volume seco do recipiente a calibrar consiste em:

Após a estabilização da balança coloca-se o recipiente na mesma e tarar.

Enche-se o recipiente até abaixo do volume nominal e verifica-se a temperatura da água. Registar a humidade, pressão e temperatura do ar para obter a massa volúmica do ar.

Acertar o volume até se obter a massa correspondente ao volume nominal através da fórmula descrita na ISO 4787.

Nesse momento marcar o zero do recipiente. Despejar de seguida o recipiente num ângulo de 60° e quando estiver a gotejar colocar na posição vertical durante 30 segundos.

O procedimento para a determinação do volume nominal do recipiente a calibrar (volume molhado) consiste em:

Para a determinação do volume molhado verificar na balança o volume residual depois do ensaio do volume seco e encher novamente até perto do zero, verificar a temperatura e ajustar o volume até se obter a massa correspondente ao volume nominal.

Registar qual a posição deste ponto na escala, realizar mais dois ensaios e marcar o zero no recipiente (volume nominal). O último ensaio é aproveitado para se iniciar a construção da escala, adicionando e retirando o volume necessário para se obter uma escala que esteja de acordo com a legislação em vigor (Despacho n.º 103.11.88.3.33/4), ou com o pedido do cliente.

Por fim gravar a escala no recipiente com o marcador de escalas e colocar um selo na escala para ficar até à próxima calibração evitando alterações no resultado da calibração.

3.1.2. Volumetria

O material volumétrico utilizado deve estar calibrado, quando tal seja requerido pela norma ensaio em que é usado ou quando tenha influência directa no resultado do ensaio. A qualidade e fiabilidade dos resultados analíticos estão em parte dependentes dos instrumentos utilizados pelo que é de extrema importância a sua calibração (Fig. 7).

O método volumétrico consiste em vazar uma certa quantidade de líquido de calibração para dentro de um reservatório que possua uma escala de unidades de volume e/ou colocar uma quantidade certa de líquido de calibração dentro de um reservatório de volume desconhecido.

O padrão de volume (pipeta automática ou recipiente overflow) utilizado na calibração deve ser cheio de água até que haja transvazamento pelo orifício superior, de seguida esvazia-se. Deste modo as paredes internas do padrão utilizado irão ficar molhadas.

Depois de esvaziar totalmente o padrão aguarda-se 15 s para a pipeta automática e 30 s para o recipiente overflow e recolhe-se a gota que fica na ponta. Nesta fase deve medir-se a temperatura da água.

Volta-se a encher o padrão da mesma forma até que haja transvazamento. Limpa-se qualquer gota que se encontre na parte exterior do mesmo com papel absorvente. Coloca-se o instrumento de medição, que deverá estar limpo e à temperatura do ensaio, por baixo do padrão e abre-se a torneira completamente. Espera-se o tempo indicado anteriormente, recolhe-se a gota que estiver suspensa para o recipiente, ajusta-se a escala ao volume nominal ou verifica-se o menisco se for material “In” (Material “In” - material para conter; Material “Ex” - material para vazar). Utilizando a OIML R120, obtém-se o resultado para uma temperatura de 20 °C.

Após a análise do resultado poderá ser necessário realizar um ensaio de confirmação.

Depois de efectuado o ajuste ao valor nominal colocar um selo na escala para ficar fixa até à próxima calibração e evitando alterações no resultado da calibração.

Pode repetir-se a operação de enchimento do padrão n vezes, até a um máximo de 10, caso o padrão de volume seja n vezes menor que volume nominal do recipiente a calibrar (com n entre 2 e 10) [4].

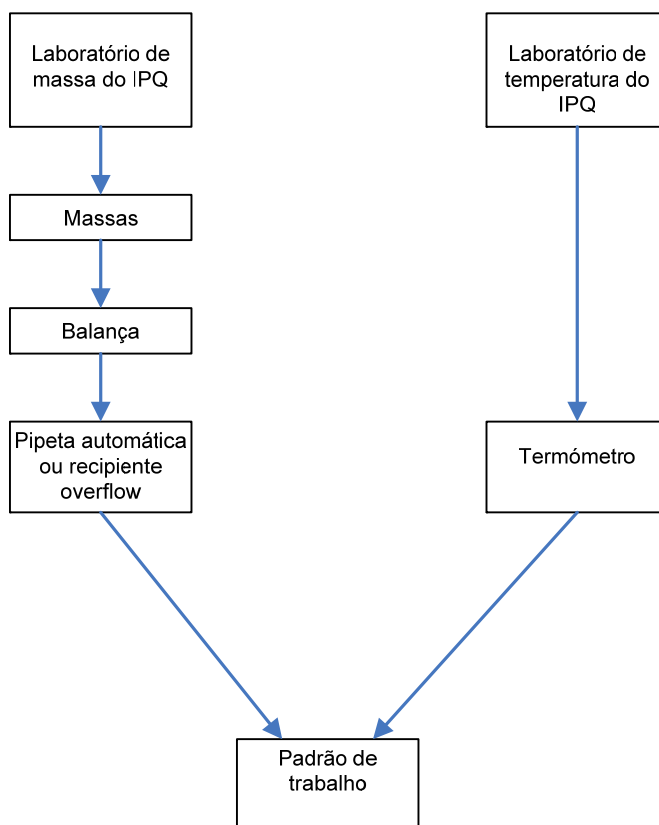


Fig. 7 – Diagrama de rastreabilidade

Capítulo 4. Tipos de Padrão para Controlar Fluxo de Gás

Os protótipos de verificação de fluxo de gás são fundamentais para a calibração de padrões industriais de elevada qualidade, como controladores e contadores utilizados na área da microelectrónica ou preparação de misturas gasosas.

A calibração de controladores de fluxo de gás consiste numa fonte de fluído (ex. compressor de ar ou noutra fonte de ar comprimido), com condutas de comprimento suficiente para intercalar o controlador de fluxo a calibrar sob condições controladas aceitáveis e um conjunto de instrumentos devidamente apropriados para a recolha de dados.

O princípio de funcionamento dos padrões é baseado no tempo necessário para captação de uma quantidade de volume de gás conhecida, para determinar o fluxo de gás escoado pelo contador ou para determinar o caudal de gás pelo caudalímetro, a uma determinada temperatura e pressão.

O padrão deverá criar as condições tão idênticas quanto possível às dos controladores de fluxo. Como é impossível criar exactamente todas as condições desejadas, o ideal é poder aproximá-las tanto quanto possível e identificar a natureza e a performance do tipo de contador ou controlador de fluxo a ser calibrado.

O caudal é expresso como quantidade de massa por unidade de tempo ou volume por unidade de tempo. O resultado da calibração do controlador de fluxo normalmente está relacionado com dois aspectos: um com a temperatura e outro com a pressão da rede do gás.

Em geral, todos os métodos para a calibração de contadores ou controladores de fluxo de gás têm analogias entre si dos seus métodos para líquidos. Pela figura 8, observa-se que a principal diferença entre a calibração de um contador ou controlador de fluxo de gás e de líquido é a compressibilidade do gás e o facto de o gás ter que estar contido num reservatório fechado [5].

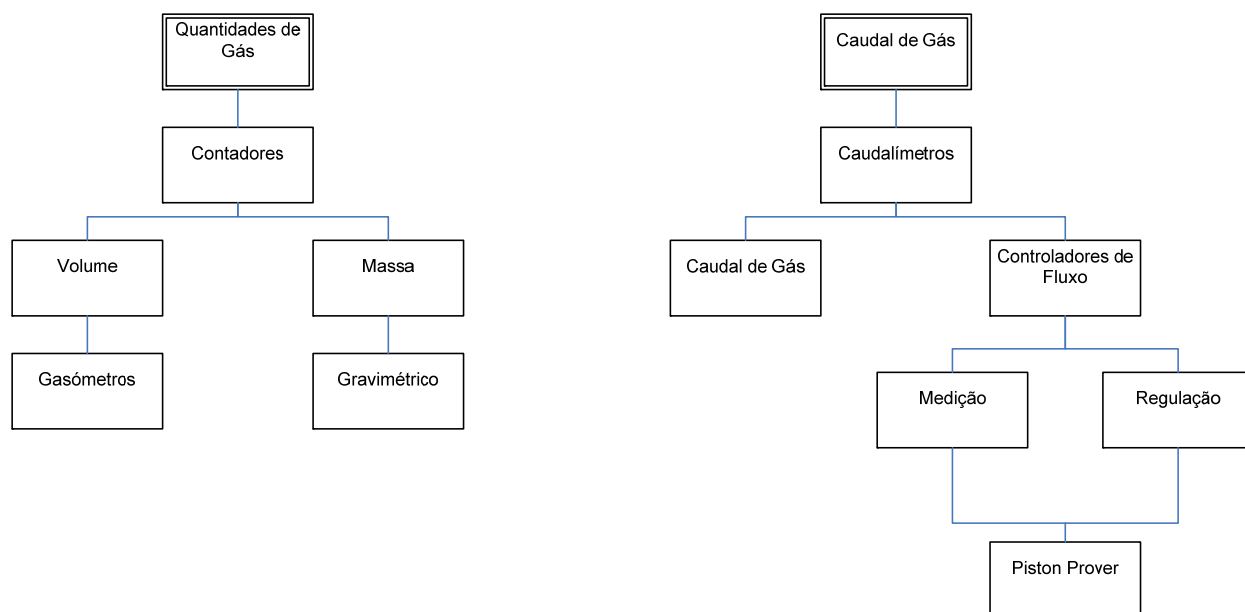


Fig. 8 – Tipos de Padrão

Pela tabela 1, apresenta-se a capacidade de calibração de cada tipo de padrão.

Tabela 1 – Padrões utilizados para calibrar os controladores de fluxo de gás por ordem crescente de capacidade

| Tipo de Padrão | Volume (m ³) | Caudal mínimo (m ³ /min) | Caudal máximo (m ³ /min) |
|----------------------|--|--|--|
| <i>Piston Prover</i> | $1.304 \times 10^{-4} \sim 7.417 \times 10^{-3}$ | $3.72 \times 10^{-5} \sim 2.12 \times 10^{-3}$ | $5.22 \times 10^{-4} \sim 2.97 \times 10^{-2}$ |
| Gasómetro | $5.644 \times 10^{-2} \sim 0.3605$ | $1.61 \times 10^{-2} \sim 0.103$ | $0.226 \sim 1.44$ |
| Gravimétrico | ~ 25 | ~ 0.8 | ~ 77 |

Segue-se uma descrição sucinta do funcionamento de cada padrão:

O Gasómetro (Fig. 9) consiste num reservatório cilíndrico aberto no topo. No centro contém um “poço seco”, que juntos formam um *annulus* que é quase completamente cheio com óleo para fazer de vedação. Dentro deste *annulus* é colocado um reservatório cilíndrico invertido, ou seja, uma campânula, aberto na parte inferior e com uma forma torisférica no topo.

Quando se levanta a campânula esta deve ficar em repouso pelo menos 1 minuto antes de se iniciar o ensaio para todo o óleo possa escoar das paredes. Quanto menor a viscosidade deste óleo melhor será a medição pois menos óleo fica agarrado às paredes.

O seu peso é contrabalançado com contrapesos para que possa ser erguido e baixado com uma diferença de pressão pequena ($-0,3$ kPa) para que recolha e meça o volume de gás.

A correcção à impulsão é realizada com pesos sendo proporcional à densidade do óleo e do metal.

A pressão interna varia entre 1,5 kPa e 2,0 kPa o que contribui para uma maior incerteza.

Pode-se medir o ar que sai no instrumento ou que entra no instrumento.

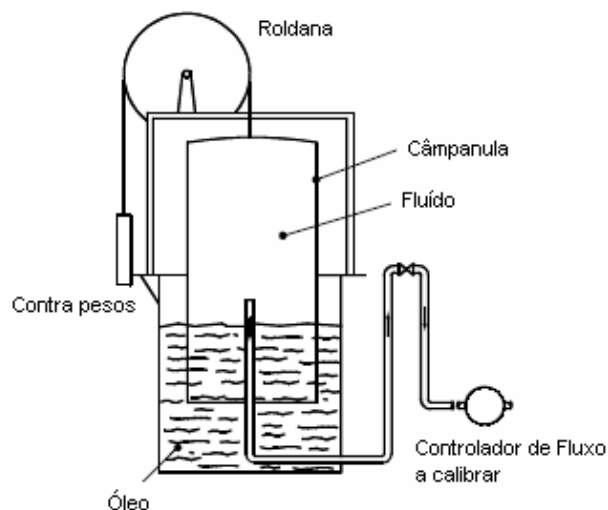


Fig. 9 – Gasómetro

O Método Gravimétrico (fig. 10) destina-se a calibrar contadores de gás usando como referência quantidades de massa de fluido. Este método pode ser usado gravimetricamente, por pesagem do gás a elevada pressão recolhido ou saído de um medidor a teste.

Alternativamente, a massa pode ser calculada usando PVT (pressão/volume/temperatura) cálculos efectuados se o volume for constante.

O método Gravimétrico é usual para testar e calibrar contadores de gás tais como de LPG (propano) e NH_3 (amoníaco) pelo método estático e/ou dinâmico.

O método Gravimétrico estático, mede o tempo desde que a válvula é accionada e deixa passar o fluido para o reservatório e estima a massa de fluido no interior do reservatório após a sua estabilização.

O método Gravimétrico dinâmico, mede o tempo que demora a variar um valor de massa para outro, do reservatório com o fluido nele contido até estar completamente cheio.

Medindo o tempo que demora o fluido passar para o interior do reservatório, quando cheio, por meio de um dispositivo instalado que acciona a interrupção de passagem do mesmo para se proceder a pesagem do fluido contido no interior do reservatório. A estabilização do fluido durante a medição é fundamental para se obter uma leitura correcta e constante da temperatura e pressão.

Este sistema de calibração é composto por um reservatório grande, bomba, válvulas, tubos anti - turbulência e tubagens de vários diâmetros.

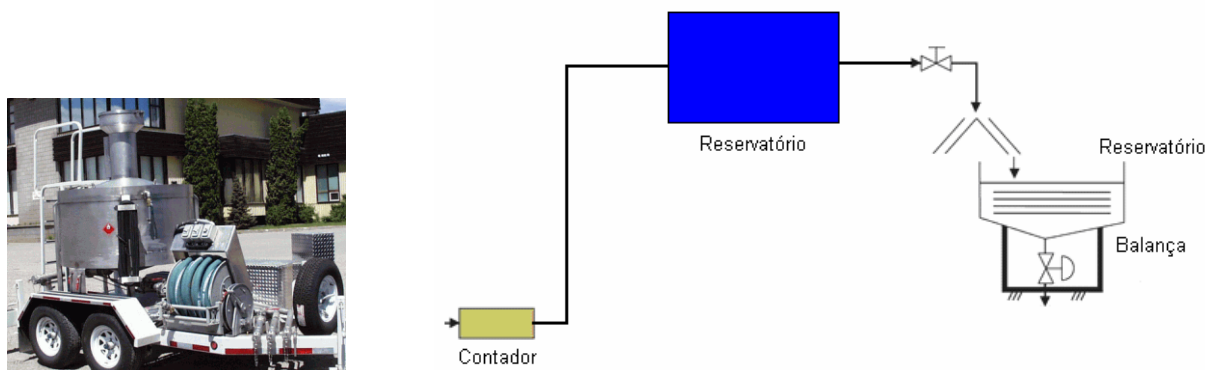


Fig. 10 – Método Gravimétrico

O *Piston-Prover* (Fig. 11), padrão que se pretende desenvolver, é usado para calibrar controladores de fluxo com taxas de fluxo baixas, usando um processo dinâmico.

O *Piston-Prover* é utilizado principalmente para medir o intervalo de tempo necessário para recolher um determinado e conhecido volume de gás a temperatura e pressão gasosa medida no interior da câmara. Só deve operar em locais de pressão e temperatura ambiente.

Como é um corpo rígido possui uma medição mais precisa e não possui erros de oscilação. Não necessita de óleo que provoca variações no volume e não é necessário correcções à impulsão.



Fig. 11 – Piston-Prover

No *Piston-Prover*, o fornecimento do gás é proveniente de uma rede de ar comprimido. É constituído por um corpo cilíndrico, dentro da qual desliza um êmbolo

ligado a um fuso e que por sua vez está ligado a motor. Se fizermos rodar o motor, o êmbolo sobe ou desce no cilindro.

O ponto mais alto que o êmbolo pode atingir dentro do cilindro determina o fim da calibração e ao ponto mais baixo é quando se inicia uma calibração e permite todos os sensores captarem a leitura das suas variáveis de modo a indicarem com precisão o seu tempo de subida. A distância percorrida pelo êmbolo entre os dois pontos designa-se por curso máximo. Apresenta-se abaixo a figura 12, um desenho técnico simplificado do *Piston-Prover* (Fig. 12)

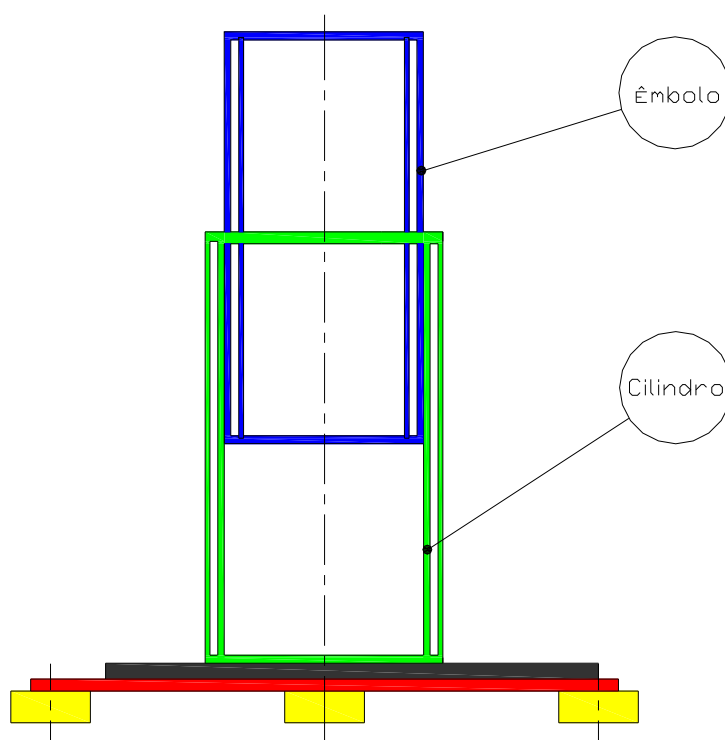


Fig. 12 – Desenho técnico simplificado do *Piston-Prover*

De seguida apresenta-se (tabela 2 e 3) alguns dos controladores e medidores de fluxo de gás possíveis de calibrar utilizando um *piston - prover*

Tabela 2 – Tabela com diversos Tipos de Controladores e Medidores de fluxo de gás

| | |
|--|---|
| | <p>EL-FLOW series</p> <p>Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico ou digital.</p> <p>Alcance desde de 0-1 ml/min a 1800 l/min ar.</p> |
|--|---|



IN-FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico ou digital.

Alcance desde 0-10 ml/min a 0-11000 m³/h ar.



LOW-AP-FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico ou digital, para baixas pressões (ΔP) ou gases de serviço corrosivos.

Alcance desde 0-10 ml/min a 1000 m³/h ar.



EX-FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico, para áreas perigosas.

Alcance desde 0-7,5 ml/min a 0-11000 m³/h ar.



COMBI-FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico, para aplicações de elevada pureza, ex. semicondutores industriais.

Alcance desde 0-10 ml/min a 0-70 l/min ar.



IQ+FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) ultra compactos (controlador mais pequeno no mundo) com output analógico e digital,

Alcance desde 0-20 ml/min a 0-2 l/min ar.



CORI-FLOW series

Controladores de Caudal Mássico (Mass Flow Controllers – MFC)/Medidores de Caudal Mássico (Mass Flow Meters – MFM) com output analógico ou digital, baseado no princípio de Coriolis.

Alcance desde 0-200 g/h a 0-600 kg/h.

Tabela 3 – Tabela com diversos Tipos de Controladores e Medidores de fluxo de gás



Controlador & Medidor
de Caudal Mássico
Digital



Controlador & Medidor
de Caudal Mássico
Analogico



Controlador & Medidor
de Caudal Mássico
Economical



Medidor de Caudal
Mássico para Indústria
Térmica Ligeira



Medidor de Caudal
Mássico para Indústria
Térmica Pesada



Medidor de Caudal
Mássico Ultrasonico



NEMA 6/IP67
Controlador de Caudal
Mássico Industrial



Medidor de Caudal
Mássico Vortex para
Indústria Pesada
Heavy Industrial



Medidor de Caudal
Mássico para Indústria
Pesada
Multiparameter



Medidor de Caudal
Mássico para Indústria
Pesada Industrial &
Sensor de Nível

Capítulo 5. Propriedades gerais

5.1. Gás Perfeito

Para estabelecer a metodologia de dimensionamento do equipamento de controlo de fluxo, admitiu-se que os gases existentes dentro da câmara eram do tipo de gás perfeito. Foi verificado experimentalmente [7] que, no caso deste tipo de gases, existem relações matemáticas entre a temperatura (T), o volume (V) e a pressão (p). Observou-se que, fixando T , se verificava a seguinte relação entre p e V

$$p \propto \frac{1}{V} \quad \text{Eq.(5.1)}$$

ou seja,

$$pV = \text{const. (para } T = \text{const.) [7]} \quad \text{Eq.(5.2)}$$

Na segunda metade do século XVII, o físico irlandês Robert Boyle e o físico francês Edmé Mariotte estudaram, separada e independentemente, o comportamento de diversas amostras gasosas, mantendo constante a temperatura durante os ensaios. Desconhecendo os trabalhos de um e de outro, esta lei (Eq.5.2) foi redescoberta cerca 10 anos depois, por Mariotte e chamou-se *Lei de Boyle-Mariotte*.

No final do século XVII, Charles e Gay-Lussac mostraram a existência de uma relação linear (Fig. 13) entre o volume (V) e a temperatura (T), mantendo a pressão p constante [7] (Eq.5.3):

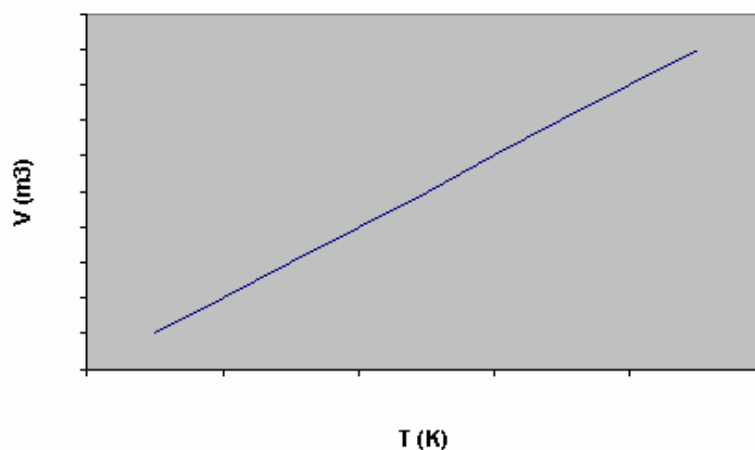


Fig. 13 – Gráfico da relação linear entre Volume e Temperatura a pressão constante

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad \text{Eq.(5.3)}$$

Tendo em consideração as equações 5.2 e 5.3, observou-se que são automaticamente satisfeitas através da equação 5.4, com “c” constante:

$$pV = cT \quad \text{Eq.(5.4)}$$

A equação obtida é designada por *equação dos gases perfeitos*, a qual relaciona três grandezas termodinâmicas (p , V e T) e é uma *equação de estado*, uma vez que a partir dela se pode tirar informação sobre o comportamento termodinâmico de uma substância. A equação 5.4 pode ser apresentada na forma mais comum $pV = nRT$, em que se considera que $c=nR$ (n representa o número de moles e R a constante universal dos gases perfeitos).

Para 1 mole de gás, isto é, para uma quantidade de substância que tenha uma massa igual ao peso molecular expresso em gramas, obtém-se a eq. 5.5 do gás perfeito

$$pv = RT \quad \text{Eq.(5.5)}$$

sendo R a *constante universal dos gases*, e v o volume molar. Esta equação 5.5 só é válida no caso de um gás extremamente diluído (no limite $V \rightarrow \infty$) para que a energia de interacção entre as moléculas seja desprezável face à sua energia cinética.

Segundo a equação dos gases perfeitos, como R é experimentalmente universal, o volume molar v é, ele próprio, a dada pressão p e temperatura T , universal. Um mole de qualquer gás (perfeito) ocupa sempre o mesmo volume (22,4 l em condições normais de p e T). Em geral, havendo n moles, a equação 5.6 dos gases perfeitos é:

$$pV = nRT \quad \text{Eq.(5.6)}$$

5.2. Gases Reais

Até aqui considerou-se o caso do gás perfeito, que é um limite válido só em situações de extrema diluição (pressões muito baixas). Em geral, observam-se desvios grandes à equação dos gases perfeitos, quando se aplicam a pressões mais elevadas.

No gás perfeito, não se tem em consideração o volume ocupado pelas moléculas; parte-se do princípio de que as moléculas são pontos e que todo o volume V está à disposição. Por outro, não se considera as interacções entre as moléculas (para além dos choques).

A primeira correcção sugere que ao volume V se retire o volume b (por cada mole de moléculas), que corresponde ao efeito da soma dos volumes das moléculas e que reduzem o volume total à disposição destas. Há toda uma região em volta de cada molécula que não pode ser visitada por qualquer outra. É isso que leva à substituição, para n moles [7],

$$V \rightarrow V - nb$$

A equação 5.7 fica

$$p(V - nb) = nRT \quad \text{Eq.(5.7)}$$

A segunda correcção requer que se tome em conta a atracção entre as moléculas (forças de coesão) e faz que a energia interna U dependa da distância entre as moléculas,

isto é, dependa do volume. No interior do gás uma molécula é igualmente atraída em todas as direcções. Uma molécula na vizinhança da parede é atraída para o interior por influência conjunta das outras. A pressão que é exercida sobre a parede fica assim reduzida.

A força total de atracção que uma molécula sente devido às que a rodeiam será proporcional à densidade, isto é

$$F_{\text{atracção}} \propto \frac{N}{V} \quad \text{Eq.(5.8)}$$

Por outro lado, o número de moléculas à superfície é proporcional a

$$N \frac{\text{Área}}{V} \quad \text{Eq.(5.9)}$$

pelo que a força sentida “a menos” na parede é:

$$\Delta F \propto \frac{N}{V} \times \frac{N}{V} \times \text{área} \quad \text{Eq.(5.10)}$$

Se o sistema contiver n moles num volume V , a variação de pressão total pode ser escrita na forma

$$\Delta p = n^2 \cdot \frac{a}{V^2} \quad \text{Eq.(5.11)}$$

em que $n = N/N_a$ e a é uma constante de proporcionalidade cujas unidades SI são $\text{N.m}^4.\text{mol}^{-2}$ ou, equivalente, $\text{Pa.m}^6.\text{mol}^{-2}$.

A pressão deixa de ser o que correspondia ao gás perfeito

$$p_{\text{perfeito}} = p + n^2 \cdot \frac{a}{V^2} \quad \text{Eq.(5.12)}$$

sendo de facto menor. Vem finalmente a equação 5.13 conhecida por *equação de van der Waals* (1873) [7]

$$(p + n^2 \frac{a}{V^2})(V - nb) = nRT \quad \text{Eq.(5.13)}$$

No plano pV têm-se as seguintes isotérmicas (Fig. 14):

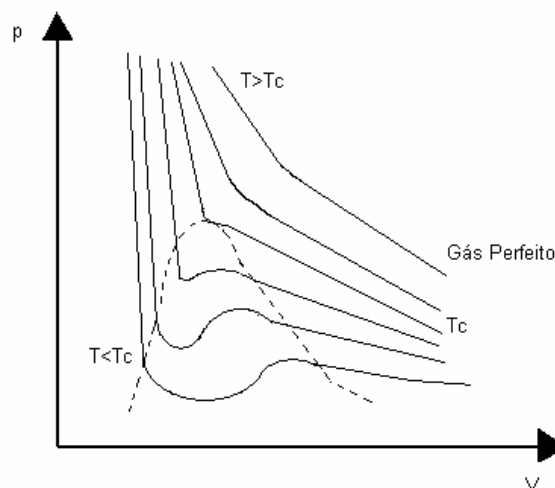


Fig. 14 – Gráfico das isotérmicas no plano pV

A equação 5.13 de van der Waals, apresenta uma temperatura crítica T_c . Acima de T_c , $T \rightarrow \infty$, recupera-se a equação de gás perfeito. Tudo se passa como as moléculas não interagissem umas com as outras e pudéssemos aproximá-las sem que nada acontecesse - a energia interna não depende do volume. Abaixo de T_c a equação apresenta um mínimo e um máximo sem significado físico. Antes do mínimo, para pequenos volumes e pressões elevadas o declive da isotérmica é muito abrupto: para comprimir (fazer reduzir o volume) é preciso uma grande variação de pressão. Pelo contrário, para volumes superiores ao máximo da isotérmica, o declive suave mostra que é fácil comprimir ou fazer expandir a substância.

Este comportamento, sempre a uma dada temperatura, sugere que entre as duas situações houve uma mudança de fase líquido-gás, com mudança de propriedades da substância: o volume e a compressibilidade mudaram em consequência da alteração da estrutura microscópica. A energia interna depende aqui fortemente do volume, e ao aproximarmos muito as moléculas (diminuir V) estas começam a interagir umas com as outras e a formar estruturas mais ordenadas.

Capítulo 6. Metodologia para o Dimensionamento do Padrão Nacional de Controlo de Fluxo

6.1. Cálculo do tempo de subida do êmbolo

O cálculo do número de moles de gás, “ n ”, existentes dentro da câmara do padrão fez-se com base na equação 5.6. Substituindo o número de moles, n , pelo quociente entre a massa de gás, m , e a massa molar, M , (Eq.6.1) estimou-se a massa de gás contido no interior da câmara do padrão.

$$m = \frac{M \cdot p \cdot \Delta V}{R \cdot T} \quad \text{Eq.(6.1)}$$

Como referido no capítulo 4., quer a câmara quer o êmbolo têm geometria cilíndrica. Assumindo o deslocamento do êmbolo, a variação do volume é dada pela equação 6.2.

$$\Delta V = V_{\text{inicial}} - V_{\text{final}} = V$$

$$V = C \times \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad \text{Eq.(6.2)}$$

Rearranjando (6.1 e 6.2), obtém-se a equação 6.3

$$m = \frac{M \cdot C \cdot D^2 \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot R \cdot T} \quad \text{Eq.(6.3)}$$

Da relação entre a massa m e o volume V , equação 6.4, e através da equação 6.2, estimou-se a massa volúmica (Eq.6.5)

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Eq.(6.4)}$$

$$\rho = \frac{4 \cdot m}{C \cdot D^2 \cdot \pi} \quad \text{Eq.(6.5)}$$

A partir da referência [8], calcula-se o caudal mássico de gás, Q_m , que deverá entrar para o interior da câmara cilíndrica, através da equação 6.6.

$$Q_m = \frac{\rho \cdot V}{t} \quad \text{Eq.(6.6)}$$

As equações anteriormente apresentadas permitem obter a equação 6.7, que determina o tempo de subida do êmbolo, em função das dimensões do equipamento, das propriedades do gás e do caudal pretendido.

$$t = \frac{C \cdot D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot Q_m \cdot R \cdot T} \quad \text{Eq.(6.7)}$$

em que:

M = massa molar (g/mol);

p = pressão da amostra gasosa (atm);

R = constante dos gases ($0,082057 \text{ atm} \cdot \text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$);

T = temperatura (K);

V = volume varrido pelo êmbolo (dm^3);

D = diâmetro do cilindro (dm);

C = curso do êmbolo (dm);

Q_m = caudal mássico (g/min).

A partir da referência [9], pelas propriedades do ar, pode obter-se a massa molar média do ar através da equação 6.8:

$$M = 78,10 \% \text{ de } \text{N}_2 + 20,98 \% \text{ de } \text{O}_2 + 0,94 \% \text{ de Ar} \quad \text{Eq. (6.8)}$$

$$M = 0,7810 \times 28,01 + 0,2096 \times 32,00 + 0,0094 \times 39,95$$

$$M = 28,96 \text{ g/mol.}$$

6.2. Procedimento sequencial do processo de calibração de controladores de fluxo

O dispositivo de medição de volume será um êmbolo accionado por um motor, deslizando no interior de um cilindro para que o caudal do gás contido no interior da câmara seja medido.

O princípio de medida é volumétrico por meio de um pistão em aço que se desloca por recurso à acção de um motor, onde a temperatura da sua câmara interna é medida.

Tanto a medição da temperatura como da pressão gasosa são necessárias para computarizar o correspondente caudal volumétrico de gás.

Todo o seu processo de funcionamento, será efectuada por meio de um conjunto de instrumentos de automação apropriados.

De seguida apresenta-se um guia de funcionamento do equipamento para um processo de calibração:

- a) Ligar todos os equipamentos relativos ao autómato e deixar estabilizar o sistema durante 30 minutos;
- b) Intercalar o controlador de caudal mássico a calibrar na instalação do ar comprimido;
- c) Ligar o circuito de água até homogeneizar a temperatura no interior da câmara;
- d) Introduzir o valor do caudal mássico do controlador a calibrar no PC;
- e) Efectuar a leitura da pressão e temperatura;
- f) Cálculo do tempo teórico da subida do êmbolo;
- g) Iniciar a subida do êmbolo;
- h) Estimar o caudal mássico, Q_m , correspondente à leitura do tempo de subida do êmbolo, pressão e temperatura durante o processo;
- i) Repetir o processo a partir da alínea e) 10 vezes;
- j) Calcular a média aritmética dos valores individualmente obtidos na alínea h) pela equação 6.9;

$$Q_j = (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\overline{Q_m} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Q_j \quad \text{Eq.6.9}$$

- k) Representar o *nível de confiança* que se obteve dos resultados obtidos

Limite Superior de Confiança (L. S. C.)

$$L.S.C. = \left[\overline{Q_m} + \sqrt{\frac{s^2(q)}{n}} \right]$$

Limite Inferior de Confiança (L. I. C.)

$$L.I.C. = \left[\overline{Q_m} - \sqrt{\frac{s^2(q)}{n}} \right]$$

A figura 15, estão representados por um fluxograma, todas as etapas de um processo de calibração de um controlador de fluxo.

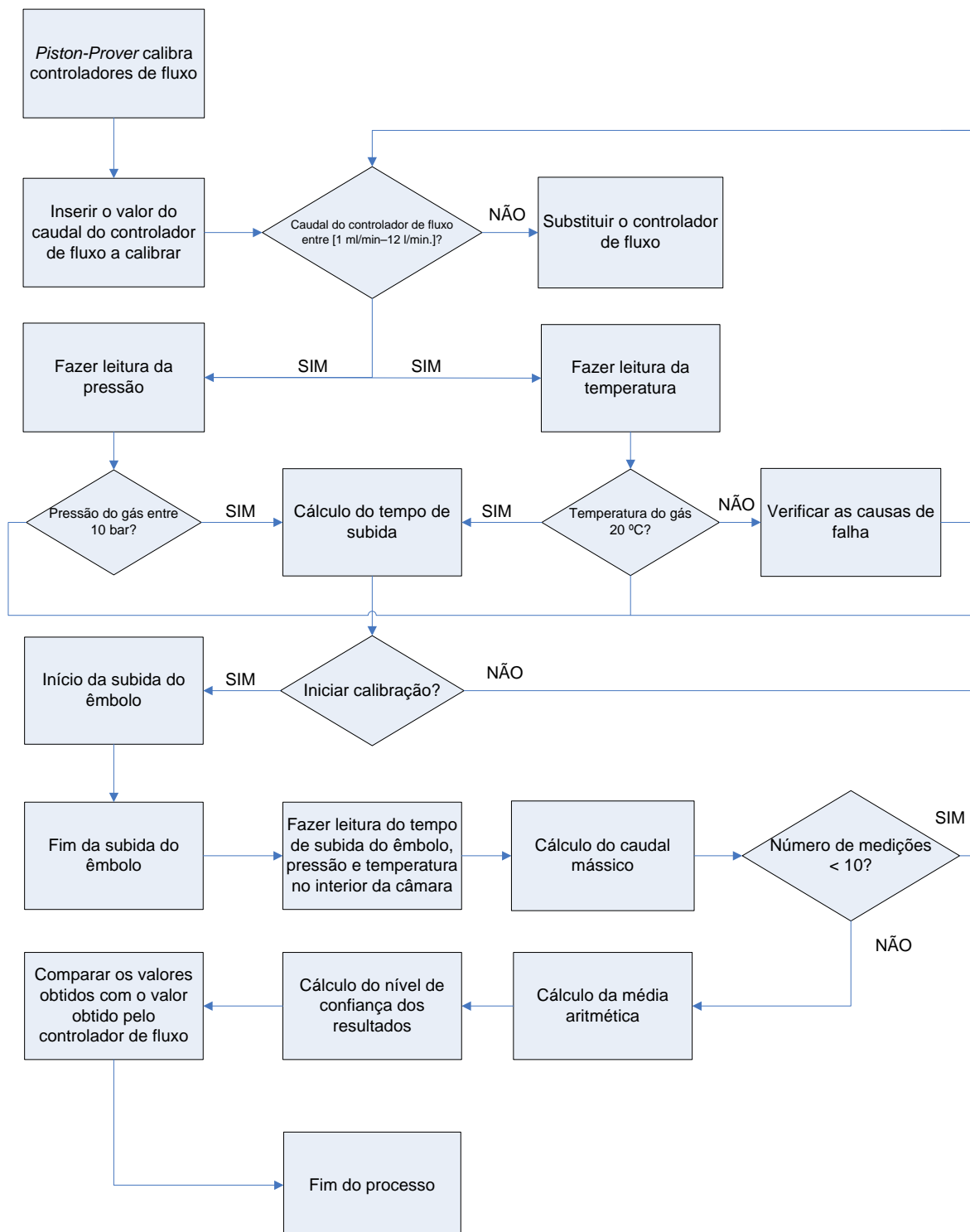


Fig. 15 – Fluxograma do processo de calibração

6.3. Análise de Sensibilidade às variáveis de entrada

Tendo em consideração a equação 6.7, e os requisitos de funcionamento do equipamento, fez-se uma análise de sensibilidade às variáveis de entrada de projecto.

O caudal dos controladores de fluxo a calibrar está compreendido entre 1ml/min. a 12 l/min, há que dimensionar o diâmetro, curso do êmbolo de acordo com a pressão da rede que irá fornecer o gás.

O curso pode ser maior ou menor que o diâmetro. Mantendo o volume do cilindro, pode-se aumentar ao diâmetro e diminuir ao curso, ou vice-versa. Diminuindo-se o curso, reduz-se a velocidade linear do pistão. Assim, a relação curso-diâmetro é muito importante para as características do *piston-prover*.

Pelas razões acima apontadas, há bastante interesse em reduzir o curso ao equipamento, permitindo assim chegar a valores de maior exactidão e precisão.

Pois dever-se-á considerar então essa variação de valores, para que os valores das calibrações não sejam afectadas por tal. Uma vez mais, a preocupação da sensibilidade do equipamento é uma das preocupações em que são tomadas em conta todas as possíveis causas, para uma maior precisão.

As calibrações correspondentes ao modelo de gás perfeito, são calculadas informaticamente pelo programa para diferentes valores de pressão e de temperatura.

Os computadores são, hoje em dia, uma ferramenta imprescindível para a resolução de uma grande quantidade de problemas. Permitem o teste de elevado número de situações distintas num curto espaço de tempo e a visualização dos resultados. Em particular, a sua utilidade é realçada em problemas não lineares, onde a maioria das ferramentas analíticas são de difícil ou impossível aplicação.

No entanto, existem vários fenómenos naturais não lineares, onde pequenas alterações numa variável podem provocar grandes variações noutra variável. Uma vez que os problemas não lineares apenas podem ser resolvidos analiticamente em casos muito especiais, o cálculo numérico computacional é importante na exploração deste tipo de fenómenos.

Para que o quociente da variação da resposta do instrumento de medição pela variação correspondente do sinal de entrada, a utilização do computador é fundamental, ou seja, abrange um grande leque de opções: análise numérica, simulação, análise e tratamento de dados.

Observa-se na figura 16, a *interface* de um sistema informático para realizar diversas simulações. Introduziram-se os seus valores de entrada (caudal, pressão e temperatura) para uma dada dimensão do diâmetro e curso do êmbolo.

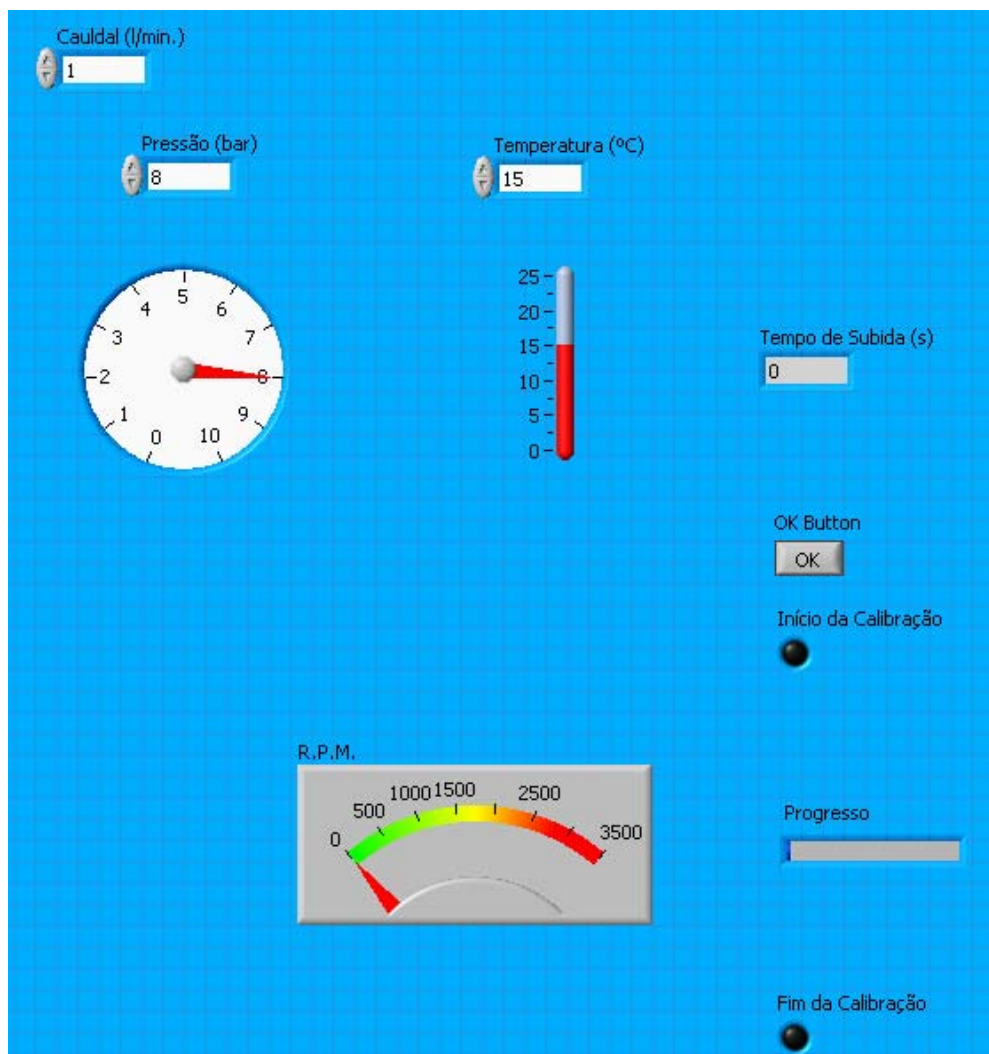


Fig. 16 – Painel de simulação de introdução das variáveis de entrada e sua resposta

Criou-se uma relação curso-diâmetro, tal que o tempo de subida do êmbolo do ponto de vista que custo/benefício fosse aceitável e sem nunca prejudicar o dimensionamento dos restantes componentes do equipamento.

A primeira situação, fixaram-se os valores de entrada da pressão, temperatura, caudal e diâmetro do êmbolo, e fez-se variar o valor do seu curso. A tabela 4, visualizou-se os tempos de subida em função dessa variação:

Tabela 4 – Variação do valor do curso do êmbolo

| Pressão (bar) | Temperatura (°C) | Caudal (l/min.) | Diâmetro (mm) | Curso (mm) | Tempo de subida (s) |
|------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|------------------------|
| 10 | 20 | 12 | 250 | 100 | 0,29 |
| 10 | 20 | 12 | 250 | 200 | 0,58 |
| 10 | 20 | 12 | 250 | 300 | 0,87 |
| 10 | 20 | 12 | 250 | 400 | 1,16 |
| 10 | 20 | 12 | 250 | 500 | 1,45 |

Perante estas condições, observou-se que à medida que o curso do êmbolo aumenta, o tempo de subida também aumenta. A desvantagem do aumento excessivo do seu curso, implica uma sobre dimensionamento de toda a estrutura, consequentemente um maior custo.

A segunda situação, fixaram-se os valores de entrada da pressão, temperatura, caudal e curso do êmbolo, e fez-se variar o valor do seu diâmetro. A tabela 5, visualizou-se os tempos de subida em função dessa variação:

Tabela 5 – Variação do valor do diâmetro do êmbolo

| Pressão (bar) | Temperatura (°C) | Caudal (l/min.) | Curso (mm) | Diâmetro (mm) | Tempo de subida (s) |
|------------------|---------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------------|
| 10 | 20 | 12 | 500 | 50 | 0,05 |
| 10 | 20 | 12 | 500 | 100 | 0,23 |
| 10 | 20 | 12 | 500 | 150 | 0,52 |
| 10 | 20 | 12 | 500 | 200 | 0,93 |
| 10 | 20 | 12 | 500 | 250 | 1,46 |

Nestas condições, observou-se que à medida o diâmetro do êmbolo aumenta, o tempo de subida também aumenta. A desvantagem do aumento excessivo do seu diâmetro, como na situação anterior, também implica uma sobre dimensionamento de toda a estrutura, consequentemente um maior custo.

A terceira situação, fixaram-se os valores de entrada do diâmetro, curso, caudal e pressão do gás, e variou-se o valor da sua temperatura. Pela tabela 6, observou-se os tempos de subida em função dessa variação:

Tabela 6 – Variação do valor da temperatura do gás

| Diâmetro (mm) | Curso (mm) | Caudal (l/min.) | Pressão (bar) | Temperatura (°C) | Tempo de subida (s) |
|------------------|---------------|--------------------|------------------|---------------------|------------------------|
| 250 | 500 | 12 | 10 | 10 | 1,50 |
| 250 | 500 | 12 | 10 | 13 | 1,49 |
| 250 | 500 | 12 | 10 | 16 | 1,47 |
| 250 | 500 | 12 | 10 | 20 | 1,46 |
| 250 | 500 | 12 | 10 | 23 | 1,44 |

Nestas condições, deparou-se que à medida a temperatura do gás aumenta, o tempo de subida diminui. A desvantagem do aumento dessa temperatura, implica um equipamento de subida para o êmbolo sobre dimensionado, consequentemente um maior custo.

A quarta situação, fixaram-se os valores de entrada do diâmetro, curso, caudal e temperatura do gás, e fez-se variou-se o valor da sua pressão. Pela tabela 7, visualizou-se os tempos de subida em função dessa variação:

Tabela 7 – Variação do valor da pressão do gás

| Diâmetro (mm) | Curso (mm) | Caudal (l/min.) | Temperatura (°C) | Pressão (bar) | Tempo de subida (s) |
|------------------|---------------|--------------------|---------------------|------------------|------------------------|
| 250 | 500 | 12 | 20 | 2 | 0,29 |
| 250 | 500 | 12 | 20 | 4 | 0,58 |
| 250 | 500 | 12 | 20 | 6 | 0,87 |
| 250 | 500 | 12 | 20 | 8 | 1,16 |
| 250 | 500 | 12 | 20 | 10 | 1,46 |

Perante estas situações, observou-se que à medida que a pressão gasosa aumenta, o tempo de subida também aumenta. A desvantagem do aumento excessivo da sua pressão, implica uma sobre dimensionamento de toda a estrutura e além da pressão da rede estar limitada.

A quinta situação, fixaram-se os valores de entrada do diâmetro, curso, pressão e temperatura gasosa, e variou-se o valor do caudal do controlador de fluxo. Pela tabela 8, visualizou-se os tempos de subida em função dessa variação:

Tabela 8 – Variação do valor do caudal

| Diâmetro (mm) | Curso (mm) | Pressão (bar) | Temperatura (°C) | Caudal (l/min.) | Tempo de subida (s) |
|------------------|---------------|------------------|---------------------|--------------------|------------------------|
| 250 | 500 | 10 | 20 | 1 | 17,49 |
| 250 | 500 | 10 | 20 | 4 | 4,37 |
| 250 | 500 | 10 | 20 | 6 | 2,91 |
| 250 | 500 | 10 | 20 | 8 | 2,18 |
| 250 | 500 | 10 | 20 | 12 | 1,46 |

Estas condições, observou-se que à medida que o caudal do controlador de fluxo aumenta, o tempo de subida diminui.

Face aos resultados obtidos das diversas simulações, apresentam-se os valores dimensionais do padrão representados na tabela 10.

6.4. Cálculo de Incertezas do Sistema Mecânico e de Instrumentação instalados

Quando se apresenta o resultado da medição de uma quantidade física é necessário que se forneça alguma indicação acerca da qualidade desse resultado.

Sem esta indicação os resultados de várias medições não poderão ser comparados entre si ou com outros valores de referência. É no entanto necessário que o procedimento de cálculo e expressão da incerteza, a tal indicação da qualidade do resultado, deva ser prontamente aplicável, facilmente perceptível e amplamente aceite.

O conceito de incerteza como atributo quantificável é relativamente novo na história das medições, embora a análise de erros seja desde há longa data domínio obrigatório na ciência em geral e na metrologia em particular. É agora largamente reconhecido que quando julgamos conhecer todas as componentes de erro e se produzem as devidas correcções, ficamos ainda com alguma incerteza quanto à exactidão do resultado.

O método ideal para calcular e expressar a incerteza deve ser universal, ou seja, o método deverá ser aplicável a todos os tipos de medições e a todos os tipos de dados de entrada nas medições.

As mensurandas, são as grandezas submetidas à medição. Na calibração, em regra, lida-se com uma única mensuranda ou grandeza de saída Y , que depende de um certo número de grandezas de entrada X_i ($i=1, 2, \dots, N$), de acordo com a relação funcional [10]

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N) \quad \text{Eq. (6.10)}$$

6.4.1. Avaliação da Incerteza de Medição de Estimativas das Grandezas de Entrada

A incerteza de medição associada às estimativas das grandezas de entrada, é avaliada de acordo com o método designado por avaliação “Tipo A” e “Tipo B”. A avaliação de Tipo A da incerteza-padrão é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de séries de observações. Neste caso, a incerteza-padrão é o desvio-padrão experimental da média que decorre de um tratamento das médias ou de uma análise de regressão apropriada. A avaliação de Tipo B da incerteza-padrão é o método de avaliação de incerteza por outros meios que não o da análise estatística de séries de observações. Neste caso, a estimativa da incerteza-padrão é baseada noutro conhecimento científico [10].

6.4.2. Avaliação de Tipo B da Incerteza-Padrão

A avaliação de Tipo B da incerteza-padrão é a avaliação da incerteza associada a uma estimativa x_i de uma grandeza de entrada X_i , por outros meios que não o da análise estatística de séries de observações. A incerteza-padrão associada $u(x_i)$ é avaliada por

apreciação científica baseada em toda a informação disponível sobre a variabilidade possível de X_i . A esta categoria pertencem valores provenientes de:

- dados de medições prévias;
- experiência de/ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes;
- especificações de fabricantes;
- dados provenientes de calibração e outros certificados;
- incertezas atribuídas a dados de referência provenientes de manuais.

O uso adequado da informação disponível para uma avaliação de Tipo B da incerteza-padrão da medição exige experiência e conhecimento científico. É um saber que pode ser aprendido com a prática. Uma avaliação de Tipo B pode ser tão fiável como uma avaliação de Tipo A da incerteza-padrão, especialmente numa situação de medição em que a avaliação de Tipo A é baseada apenas num número comparativamente pequeno de observações estatisticamente independentes. Os seguintes casos devem ser individualizados:

- a) Se para a grandeza X_i apenas for conhecido um único valor, i.e., um único valor medido, um valor resultante de uma medição anterior, um valor de referência da literatura ou um valor de correcção, esse valor deve ser usado como o valor estimado x_i . A incerteza-padrão $u(x_i)$ associada a x_i quando dada, deve ser adoptada. De outro modo, deve ser calculada a partir de dados inequívocos da incerteza. Se não existirem tais dados, a incerteza deve ser avaliada com base na experiência.
- b) Se for possível admitir uma certa distribuição de probabilidade para a grandeza baseada na teoria ou na experiência, então, deve ser utilizado o correspondente valor esperado e a raiz quadrada da variância desta distribuição como a estimativa x_i e a incerteza-padrão associada $u(x_i)$, respectivamente.
- c) Se só for possível estimar os valores limites superior e inferior da grandeza X_i (por exemplo, especificações de fabricante para o instrumento de medição, gama de temperatura, erro de arredondamento ou de truncagem proveniente de tratamento automático), então deve ser usada uma distribuição de probabilidade com densidade de probabilidade constante entre esses limites (distribuição de probabilidade rectangular) sobre a variabilidade possível de X_i [10].

6.4.3. Cálculo da Incerteza-Padrão da Estimativa da Grandeza de Saída

No caso de grandezas de entrada não correlacionadas entre si, o quadrado da incerteza-padrão da estimativa da grandeza de saída y é dado por:

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y) \quad \text{Eq.(6.11)}$$

A grandeza $u_i(y)$ ($i=1,2,\dots, N$) é a contribuição para a incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de saída y , resultando da incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de entrada x_i [10]

$$u_i(y) = c_i u(x_i) \quad \text{Eq.(6.12)}$$

em que c_i é o coeficiente de sensibilidade associado à estimativa da grandeza de entrada x_i , i. e., a derivada parcial da função modelo f em relação a X_i , avaliada nas estimativas x_i da grandeza de entrada [10],

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} = \frac{\partial f}{\partial x_i} \bigg/ X_1 = x_1 \dots X_n = x_n \quad \text{Eq.(6.13)}$$

O coeficiente de sensibilidade c_i descreve como a grandeza estimada de saída y é influenciada pelas variações de cada uma das estimativas das grandezas de entrada x_i . Pode ser avaliada de acordo com a função modelo f pela equação 6.13 ou através da utilização de métodos numéricos, i.e., calculando a variação na estimativa da grandeza de saída y , devida à variação na estimativa da grandeza de entrada x_i de $+u(x_i)$, e $-u(x_i)$, tomando para valor de c_i a diferença resultante em y dividida por $2u(x_i)$. Por vezes, pode ser mais apropriado determinar a variação da estimativa da grandeza de saída y através de um ensaio repetindo a medição, por exemplo, em $x_i \pm u(x_i)$.

Onde $u(x_i)$ é sempre positivo, a contribuição de $u_i(y)$ de acordo com a equação 6.12 será positiva ou negativa, dependendo do sinal do coeficiente de sensibilidade c_i . O sinal de $u_i(y)$ tem de ser tomado em conta no caso de grandezas de entrada correlacionadas.

Se a função modelo f é uma soma ou diferença aritmética das grandezas de entrada X_i [10]

$$f(X_1, X_2, \dots, X_N) = \sum_{i=1}^N p_i X_i \quad \text{Eq.(6.14)}$$

a estimativa da grandeza de saída de acordo com a equação 6.15 é dada pela correspondente soma ou diferença das estimativas das grandezas de entrada [10]

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad \text{Eq.(6.15)}$$

$$y = \sum_{i=1}^N p_i x_i \quad \text{Eq.(6.16)}$$

onde os coeficientes de sensibilidade são iguais a p_i e a equação 6.11 é transformada em

$$u^2(y) = \sum_{i=1}^N p_i^2 u^2(x_i) \quad \text{Eq.(6.17)}$$

Se a função modelo f é um produto ou quociente das grandezas de entrada X_i

$$f(X_1, X_2, \dots, X_N) = c \prod_{i=1}^N X_i^{p_i} \quad \text{Eq.(6.18)}$$

a estimativa da grandeza de saída é o produto ou quociente correspondente das estimativas das grandezas de entrada [10]

$$y = c \prod_{i=1}^N x_i^{p_i} \quad \text{Eq.(6.19)}$$

os coeficientes de sensibilidade neste caso são iguais a $p_i y/x_i$ e uma expressão análoga à equação 6.17 pode ser obtida a partir da equação 6.11, se for possível utilizar as incertezas-padrão relativas $w(y)=u(y)/|y|$ e $w(x_i)=u(x_i)/|x_i|$ [10],

$$w^2(y) = \sum_{i=1}^N p_i^2 w^2(x_i) \quad \text{Eq.(6.20)}$$

A análise da incerteza de medição, por vezes chamada *balanço da incerteza de medição*, deve incluir a lista de todas as fontes de incerteza, juntamente com as incertezas-padrão associadas e os respectivos métodos de avaliação. Para medições repetidas, o número de observações n tem de ser referido. A bem da clareza, os dados relevantes para esta análise devem ser apresentados num quadro. Neste quadro, todas as grandezas devem ser referenciadas por um símbolo físico X_i ou um identificador abreviado. Para cada um deles, pelo menos a estimativa x_i , a incerteza-padrão de medição associada $u(x_i)$, o coeficiente de sensibilidade c_i e as diferentes contribuições para a incerteza $u_i(y)$ devem ser especificadas. As dimensões de cada uma das grandezas devem também ser expressas com os valores numéricos indicados na tabela 9:

Tabela 9 – Tabela de balanço da incerteza de medição

| Grandeza X_i | Estimativa x_i | Incerteza- padrão | Coeficientes de sensibilidade c_i | Contribuição para a incerteza-padrão $u_i(y)$ |
|-------------------|---------------------|----------------------|---|---|
| X_1 | x_1 | $u(x_1)$ | c_1 | $u_1(y)$ |
| X_2 | x_2 | $u(x_2)$ | c_2 | $u_2(y)$ |
| ... | ... | ... | ... | ... |
| X_N | x_N | $u(x_N)$ | c_N | $u_N(y)$ |
| Y | y | | | $u(y)$ |

6.4.4. Incerteza de Medição Expandida

Os laboratórios de calibração acreditados devem expressar uma incerteza de medição expandida U , obtida mediante a multiplicação da incerteza-padrão $u(y)$ da estimativa da grandeza de saída por um factor de expansão k [10],

$$U = ku(y) \quad \text{Eq.(6.21)}$$

Nos casos em que uma distribuição normal (Gaussiana) possa ser atribuída à mensuranda e a incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza de saída tenha suficiente fiabilidade, deve ser usado o factor de expansão $k=2$. A incerteza expandida

expressa corresponde a uma probabilidade expandida de aproximadamente 95%. Estas condições são preenchidas, na maioria dos casos encontrados, nos trabalhos de calibração [10].

6.4.5. Procedimento Sequencial de Cálculo da Incerteza de Medição

a) A equação 6.22 é a expressão matemática da dependência mensuranda (grandeza de saída) Y , (Q_m) em relação às grandezas de entrada X_i . (C , D , M , p , T , R , t).

$$Q_m = \frac{C.D^2.M.p.\pi}{4.T.R.t} \quad \text{Eq.(6.22)}$$

em que:

M = massa molar em g.mol^{-1} ;

p = pressão da amostra gasosa em atm;

R = constante dos gases, $0,082057 \text{ atm.dm}^3.\text{mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$;

T = temperatura em K;

D = diâmetro do cilindro em dm;

C = curso do êmbolo em dm;

Q_m = caudal mássico em g.min^{-1} ;

t = tempo de subida do êmbolo em min.

b) Identificação e lista de todas as fontes de incerteza

M = massa molar;

p = pressão da amostra gasosa;

R = constante dos gases;

T = temperatura;

D = diâmetro do cilindro;

C = curso do êmbolo;

Q_m = caudal mássico;

t = tempo de subida do êmbolo.

c) Cálculo das incertezas-padrão $u(x_i)$ de acordo com o parágrafo b) do sub capítulo 6.4.2. tendo em conta a exactidão dos instrumentos utilizados possivelmente em simulação.

$$u(M) = \frac{R(M)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,01/2}{\sqrt{3}} = 0,002887 \text{ g.mol}^{-1} \quad \text{Eq.(6.23)}$$

$$u(p) = 0,3\% = 0,003 \text{ bar} = 0,00296077 \text{ atm} \quad \text{Eq.(6.24)}$$

$$u(R) = \frac{R(R)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,000001/2}{\sqrt{3}} = 2,88675 \times 10^{-7} \text{ atm.dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{Eq. (6.25)}$$

$$u(T) = \frac{R(T)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,001/2}{\sqrt{3}} = 0,000289 \text{ K} \quad \text{Eq. (6.26)}$$

$$u(D) = \frac{R(D)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,01/2}{\sqrt{3}} = 0,002887 \text{ mm} = 0,00002887 \text{ dm} \quad \text{Eq. (6.27)}$$

$$u(C) = \frac{R(C)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,001/2}{\sqrt{3}} = 0,000289 \text{ mm} = 0,00000289 \text{ dm} \quad \text{Eq. (6.28)}$$

$$u(t) = \frac{R(t)/2}{\sqrt{3}} = \frac{0,001/2}{\sqrt{3}} = 0,000289 \text{ s} = 4,816667 \times 10^{-6} \text{ min} \quad \text{Eq. (6.29)}$$

$$u_{\text{médio_ensaio}}(Q_m) = 1 \text{ g.min}^{-1} = \text{repetibilidade} \quad \text{Eq. (6.30)}$$

em que:

$R(M)$ = resolução do valor da massa molar;

$R(R)$ = resolução do valor da constante dos gases;

$R(T)$ = resolução do sensor de temperatura;

$R(D)$ = resolução do instrumento de medição;

$R(C)$ = resolução do servo motor;

$R(t)$ = resolução do tempo de subida do êmbolo.

d) Cálculo, para cada grandeza de entrada X_i , a contribuição $u_i(y)$ para a incerteza associada com a estimativa da grandeza de saída resultantes das estimativas das grandezas de entrada, de acordo com as equações 6.12 e 6.13

$$\frac{\partial Q_m}{\partial M} = \frac{C.D^2.p.\pi}{4.T.R.t} \text{ mol.min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.31)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial p} = \frac{C.D^2.M.\pi}{4.T.R.t} \text{ g.atm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.32)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial R} = \frac{-C.D^2.M.p.\pi}{4.T.R^2.t} \text{ g.K.mol.atm}^{-1} \cdot \text{dm}^{-3} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.33)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial T} = \frac{-C.D^2.M.p.\pi}{4.T^2.R.t} \text{ g.K}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.34)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial D} = \frac{C.D.M.p.\pi}{2.T.R.t} \text{ g.dm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.35)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial C} = \frac{D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t} \text{ g} \cdot \text{dm}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \quad \text{Eq. (6.36)}$$

$$\frac{\partial Q_m}{\partial t} = \frac{-C \cdot D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t^2} \text{ g} \cdot \text{min}^{-2} \quad \text{Eq. (6.37)}$$

e) Cálculo da soma do quadrado da incerteza padrão $u(y)$ da mensuranda

$$u^2(Q_m) = \left(\frac{\partial Q_m}{\partial M}\right)^2 \cdot (u(M))^2 + \left(\frac{\partial Q_m}{\partial p}\right)^2 \cdot (u(p))^2 + \left(\frac{\partial Q_m}{\partial R}\right)^2 \cdot (u(R))^2 + \left(\frac{\partial Q_m}{\partial T}\right)^2 \cdot (u(T))^2 + \left(\frac{\partial Q_m}{\partial D}\right)^2 \cdot (u(D))^2 +$$

$$\left(\frac{\partial Q_m}{\partial C}\right)^2 \cdot (u(C))^2 + \left(\frac{\partial Q_m}{\partial t}\right)^2 \cdot (u(t))^2 + u_{\text{médio_ensaio}}(Q_m)$$

$$u^2(Q_m) = \left(\frac{C \cdot D^2 \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t}\right)^2 \cdot (u(M))^2 + \left(\frac{C \cdot D^2 \cdot M \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t}\right)^2 \cdot (u(p))^2 + \left(\frac{-C \cdot D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R^2 \cdot t}\right)^2 \cdot (u(R))^2 +$$

$$\left(\frac{-C \cdot D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T^2 \cdot R \cdot t}\right)^2 \cdot (u(T))^2 + \left(\frac{C \cdot D \cdot M \cdot p \cdot \pi}{2 \cdot T \cdot R \cdot t}\right)^2 \cdot (u(D))^2 + \left(\frac{D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t}\right)^2 \cdot (u(C))^2 + \left(\frac{-C \cdot D^2 \cdot M \cdot p \cdot \pi}{4 \cdot T \cdot R \cdot t^2}\right)^2 \cdot (u(t))^2$$

$$+ (u_{\text{médio_ensaio}}(Q_m))^2$$

Eq. (6.38)

f) Esquema de apresentação ordenada das grandezas, estimativas, incertezas-padrão, coeficientes de sensibilidade e contribuições para a incerteza-padrão. A forma de apresentar a especificação será em função do fim de escala, ou seja, momento o qual o instrumento terá uma menor capacidade de medição:

Tabela 10 – Especificações fim de escala

| | |
|--|-----------------|
| Diâmetro interno do êmbolo/camisa | 250 mm |
| Curso útil | 500 mm |
| Caudal nominal máximo | 12 l/min |
| Pressão de serviço | 10 bar |
| Tempo de subida mínimo | 1,458 s |

Pela equação 6.38

$$u^2(Q_m) = (414,39)^2 \cdot (0,002887)^2 + (1215,98)^2 \cdot (0,002960)^2 + (-146249,51)^2 \cdot (2,88675 \times 10^{-7})^2 + (-40,93)^2 \cdot (0,000289)^2 + (9600,64)^2 \cdot (0,00002887)^2 + (2400,16)^2 \cdot (0,00000289)^2 + (-493859,92)^2 \cdot (4,81666 \times 10^{-6})^2 + 1^2$$

$$u^2(Q_m) = 171719,07 \times 8,334 \times 10^{-6} + 1,478 \times 10^6 \times 9,00 \times 10^{-6} + 2,138 \times 10^{10} \times 8,333 \times 10^{-14} + 1675,26 \times 8,352 \times 10^{-8} + 9,217 \times 10^7 \times 8,334 \times 10^{-10} + 5,760 \times 10^6 \times 8,352 \times 10^{-12} + 2,438 \times 10^{11} \times 2,3200 \times 10^{-11} + 1$$

$$u^2(Q_m) = 21,04$$

$$u(Q_m) = 4,58 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$$

Tabela 11 – Tabela de apresentação das grandezas, estimativas, incertezas-padrão, coeficientes de sensibilidade e contribuições para a incerteza-padrão

| Grandeza X_i | Estimativa x_i | Incerteza-padrão | Coeficientes de sensibilidade c_i | Contribuição para a incerteza-padrão $u_i(y)$ (g/min.) |
|-----------------------|--|---|---|--|
| M | 28,96 g.mol ⁻¹ | 0,002887 g.mol ⁻¹ | 414,39 mol.min ⁻¹ | 1,43 |
| p | 10 bar = 9,869233 atm | 0,002960 atm | 1215,98 g.atm ⁻¹ .min ⁻¹ | 12,95 |
| R | 0,082057 atm.dm ³ .mol ⁻¹ .K ⁻¹ | $2,88675 \times 10^{-7}$ atm.dm ³ .mol.K ⁻¹ | -146249,51 g.K.mol.atm ⁻¹ .dm ⁻³ .min ⁻¹ | 0,00178 |
| T | 20 °C = 293,15 K | 0,000289 K | -40,93 g.K ⁻¹ .min ⁻¹ | 0,00014 |
| D | 250 mm = 2,50 dm | 0,00002887 dm | 9600,64 g.dm ⁻¹ .min ⁻¹ | 0,07682 |
| C | 500 mm = 5,00 dm | 0,00000289 dm | 2400,16 g.dm ⁻¹ .min ⁻¹ | 0,00004 |
| t | 1,458 s = 0,0243 min | $4,81666 \times 10^{-6}$ min | -493859,92 g.min ⁻² | 5,65849 |
| <i>Repetibilidade</i> | 1 g.min ⁻¹ | | | 1 |
| Q_m | 12 l/min = 12000 g/min | | | 4,48 |

g) Cálculo da incerteza expandida multiplicando a incerteza padrão $u(y)$ pelo factor de expansão $k=2$, de acordo com a equação 6.21

$$U = 2 \times 4,58 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$U = 9,17 \text{ g} \cdot \text{min}^{-1}$$

Calculado em percentagem o valor da incerteza é de 0,076 %, valor ligeiramente superior aos 0,05 % de incerteza esperada, mas que se aceita atendendo às dimensões do equipamento e à velocidade atingida pelo êmbolo.

6.5. Cálculo das forças existentes no êmbolo

Quando dois corpos têm superfícies curvas e são pressionados um contra o outro com uma determinada força, o ponto ou linha de contacto altera-se para uma área de contacto (Fig. 17).

Os *o’rings* são aplicados de acordo com normas internacionais standard Alemãs, Suecas, Inglesas e Americanas, de que são exemplos: SMS 1586, AN 6227 B, MS 23734, MS 29513, MS 23775, AN 6230, BS 1806 e BS 1962 [11].

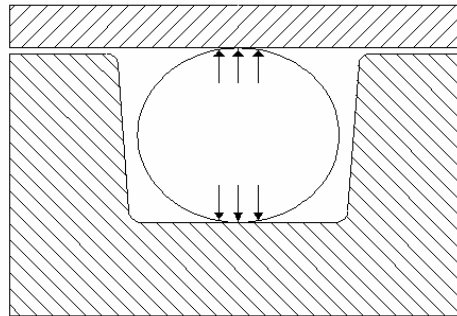


Fig. 17 – *o’ring* inserido no seu alojamento

O contacto esférico entre o *o’ring* e a parede do êmbolo (Fig. 18) é obtido pela equação 6.39 [11]:

$$a = \sqrt[3]{\frac{3.F}{8} \frac{(1-\nu_1^2)/E_1 + (1-\nu_2^2)/E_2}{1/d_1 + 1/d_2}} \quad \text{Eq.(6.39)}$$

em que:

d_1 = diâmetro do êmbolo (m);

d_2 = diâmetro do *o’ring* (m);

F = força aplicada no êmbolo pelo *o’ring* (N);

E_1 = módulo de elasticidade do êmbolo (Pa);

E_2 = módulo de elasticidade do *o’ring* (Pa);

ν_1 = coeficiente de Poisson do êmbolo;

ν_2 = coeficiente de Poisson do *o’ring*;

a = área de contacto (m).

Na montagem, o esmagamento máximo/área de contacto (Eq.6.39), a , deve estar compreendido entre 10 a 25% da espessura dos *o’ rings* [11].

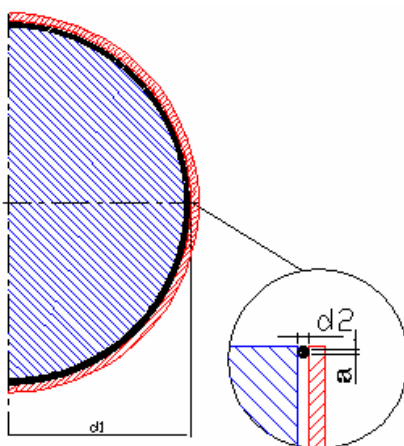


Fig. 18 – Dimensões do *o'ring* e superfície de contacto

Pelo referido no parágrafo anterior, a equação 6.39 pode ser reescrita de forma a estimar-se a força aplicada no êmbolo pelo *o'ring* (Eq.6.40)

$$F = \frac{-8.a^3.E_2.(d_2 + d_1).E_1}{3.d_2.d_1.(E_2.v_1^2 + E_1.v_2^2 - E_2 - E_1)} \quad \text{Eq.(6.40)}$$

Há que contar também com as forças de atrito originadas na área de contacto entre o êmbolo e o *o'ring*, o que irá dificultar o movimento do êmbolo, uma vez que quando o êmbolo se move, a força de atrito cinético que actua sobre o corpo tem direcção oposta à da velocidade do êmbolo.

Problemas tais como atrito, desgaste e gripagem há que ter em conta para um bom funcionamento do equipamento tal como a sua durabilidade e eficiência.

A impossibilidade de aplicação de certos tipos de lubrificação mecânica para melhorar o desempenho e aumentando o tempo de serviço é uma das preocupação a considerar.

Sendo a opção, para a eliminação e redução de problemas de manutenção que provocam paragens, ao acabar com o atrito e a gripagem possivelmente ocasionadas pela desigualdade de materiais e seus diferentes factores de dureza, passará pela aplicação de revestimento Dissulfureto de Tungsténio Modificado na parede exterior do êmbolo. A sua extensa e exclusiva modificação da estrutura lamelar faz com que a sua acção seja muito superior à de qualquer outro lubrificante conhecido. Funciona basicamente como lubrificante de alta tecnologia que reduz o atrito, aumenta a resistência e ao desgaste [12].

A utilização de Dissulfureto de Tungsténio Modificado é uma das possibilidades para ultrapassar os problemas de atrito. De facto este mineral (tungstenite) após transformação pode ser facilmente depositado sob a forma de um filme molecular com 0,5 µm de espessura, o que não altera na prática as relações dimensionais entre as peças, ou o

seu acabamento superficial. Este filme é não magnético apresenta uma capacidade de carga máxima à compressão de cerca de 2450 MPa e apresenta uma estrutura molecular do tipo lamelar com dureza 1 a 1,5 na escala de Mohs. É aplicado à temperatura ambiente e não necessita de tempo de cura específico. Como contrapartida de todas estas propriedades sabe-se que o seu comportamento se degrada rapidamente em ambientes muito húmidos.

A aplicação deste revestimento utiliza ar refrigerado pressurizado rigorosamente seco que transporta o revestimento sem geração de calor, sem necessidade de cura e sem necessidade de qualquer tipo de ligante ou adesivo. Pode ser utilizado em qualquer substrato metálico ou à base de resinas, gerando espessuras 0,5 μm . O WS2 pode operar desde -273 °C até 650 °C em atmosfera normal. O baixo coeficiente de atrito do WS2 mantém-se virtualmente constante dentro do intervalo de -212 °C a 538 °C e desde -188 °C até 1316 °C em vácuo de 10E -14 Torr. A cerca de 440 °C existe um limiar de oxidação mas a sua taxa é bastante baixa quando comparada com outros lubrificantes. As suas características de desgasificação são também muito reduzidas.

O WS2 apresenta um coeficiente dinâmico de 0.030 e estático de 0.070 a 0.090. A pressão, o acabamento e a dureza das superfícies afectam os resultados. Extensos testes práticos de desgaste indicam uma variação mínima para estes valores a menos que neles sejam introduzidas severas condições de sobrecarga. A capacidade de carga do revestimento em si excede os 700 MPa. Outros estudos têm comprovado os baixos coeficientes de atrito de 0,04 em ensaios de “ball-on-disk” para humidades relativas de 50 a 60%.

O WS2 é inerte, não tóxico, não magnético, estável no vácuo e não corrosivo. O WS2 pode ser aplicado a todos os substratos de metais estáveis e a muitos plásticos. É resistente à maioria dos solventes, combustíveis refinados e solventes clorinados. Porém, é atacado por gases fluorinados, ácidos sulfúrico e hidro-fluorídrico e ainda a quente por soluções cáusticas alcalinas. O WS2 é resistente à corrosão mas não inibe significativamente o efeito da corrosão em materiais inerentemente pouco resistentes [12].

Tabela 12 – Dados técnicos do WS2

| | |
|----------------|--|
| Composição | Dissulfureto de Tungsténio (WS2) sob forma lamelar |
| Dureza | Imensurável |
| Peso molecular | 248,02 |
| Massa volúmica | 7,4 g/cm ³ |
| Espessura | 0,5 μm |
| Aparência | Azul acinzentado |

| | |
|------------------------|--|
| Coeficiente de atrito | Dinâmico – 0,030; Estático – 0,070 |
| Adesão | Ligação mecânico – molecular |
| Tempo de cura | Não necessita de cura, aplicação à temperatura ambiente |
| Limites de temperatura | Lubrifica entre -273 °C e 650 °C em atmosfera normal |
| Estabilidade química | Inerte, não tóxico, resistente à corrosão |
| Resistência a corrosão | Ligeiro atraso na corrosão, não impede a corrosão do substrato |
| Magnetismo | Não magnético |
| Ambiente de vácuo | Entre -188 °C e +1316 °C em vácuo de 10 E -14 Torr |
| Substratos | Todos os metais sólidos, vidro, fibra de vidro, porcelana e polímeros |
| Como substrato | Aceita a maioria das tintas, todos os revestimentos e é compatível com solventes, combustíveis e óleos |
| Capacidade de carga | Mesma do substrato, até 70 kg/mm ² |
| Compatibilidade LOX | Insensível à detonação por, ou em presença de oxigénio |
| Degradação | Não provoca distorções por eliminação de tensões ou degradação adicional em qualquer substrato |

O êmbolo apresenta-se com um revestimento tal que permite reduzir o seu desgaste e o atrito.

A força de atrito êmbolo - cilindro é praticamente proporcional à velocidade do êmbolo.

A pressão média de atrito (Fig. 19) resultante do atrito saia do êmbolo - cilindro descreve-se segundo a equação 6.41 [13]

$$pma_{saia} \approx \mu_{ar} \frac{v_e}{f} \quad \text{Eq.(6.41)}$$

em que:

μ_{ar} = coeficiente de viscosidade do ar dentro da câmara (Pa.s);

v_e = velocidade do êmbolo (m/s);

f = folga (diferença entre raios) (m).

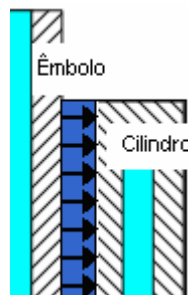


Fig. 19 – Pressão média de atrito saia do êmbolo-cilindro

Pela equação 6.42

$$pma_{saia} = \frac{F_{\hat{embolo}}}{A} \quad \text{Eq. (6.42)}$$

$$F_{\hat{embolo}} = pma_{saia} \cdot A \quad \text{Eq. (6.43)}$$

$$F_{\hat{embolo}} = pma_{saia} \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r \quad \text{Eq. (6.44)}$$

Pela equação 6.45, estima-se a força média de atrito da saia do êmbolo no cilindro

$$F_{\hat{embolo}} = \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r \quad \text{Eq. (6.45)}$$

em que:

$F_{\hat{embolo}}$ = força média de atrito da saia do êmbolo (N);

L = altura do cilindro (m);

r = raio do cilindro (m).

No diagrama de corpo livre (Fig. 20), representaram-se todas as forças exercidas no êmbolo na direcção de cada eixo, em xx e yy [14]

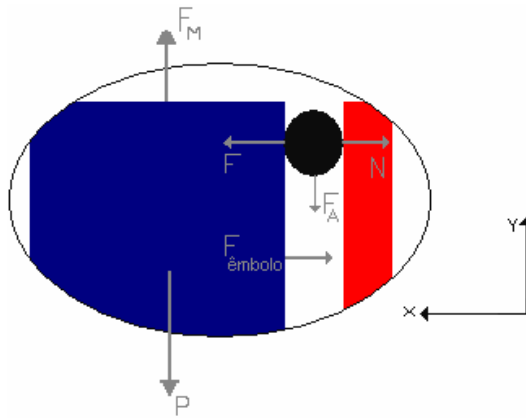


Fig. 20 – Diagrama de corpo livre do *piston prover*

$$F_x : F - N - F_{\hat{embolo}} = 0 \quad \text{Eq. (6.46)}$$

$$F_y : F_M - P - F_A = m \cdot a \quad \text{Eq. (6.47)}$$

$$F_x : F = N + F_{\hat{embolo}} \quad \text{Eq. (6.48)}$$

$$F_y : F_M = P + F_A + m \cdot a \quad \text{Eq. (6.49)}$$

Uma vez já estimado $F_{\hat{embolo}}$, a partir da equação 6.46

$$F_x : F = N + \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r \quad \text{Eq. (6.50)}$$

$$F_y : F_M = m.g + \mu.N + m.a \quad \text{Eq.(6.51)}$$

$$F_x : F = N + \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r \quad \text{Eq.(6.52)}$$

$$F_y : F_M = \rho.V.g + \mu.N + \rho.V.a \quad \text{Eq.(6.53)}$$

$$F_x : F = N + \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r \quad \text{Eq.(6.54)}$$

$$F_y : F_M = \rho.\pi.\frac{d^2}{4}.h.g + \mu.N + \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r + \rho.\pi.\frac{d^2}{4}.h.a \quad \text{Eq.(6.55)}$$

As equações 6.56 e 6.57, equações do movimento [14] e reorganizando com as equações 6.54 e 6.55, obtidas anteriormente, estimou-se a força aplicada no êmbolo segundo o referencial, em xx (equação 6.60) e a força aplicada no êmbolo segundo o referencial, em yy (equação 6.61)

$$x = x_0 + \frac{1}{2}.a.t^2 \quad \text{Eq.(6.56)}$$

$$a = \frac{2.(x - x_0)}{t^2} \quad \text{Eq.(6.57)}$$

Logo:

$$F_x : F = N + \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r \quad \text{Eq.(6.58)}$$

$$F_y : F_M = \rho.\pi.\frac{d^2}{4}.h.g + \mu.N + \rho.\pi.\frac{d^2}{4}.h.\frac{2.(x - x_0)}{t^2} \quad \text{Eq.(6.59)}$$

$$F_x : N = F - \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r \quad \text{Eq.(6.60)}$$

$$F_y : F_M = \rho.\left(\frac{d^2.h.\pi.(x - x_0)}{2.t^2} + \frac{d^2.g.h.\pi}{4}\right) + \mu.\left(F - \mu_{ar} \cdot \frac{v_e}{f} \cdot 2.\pi.L.r\right) \quad \text{Eq.(6.61)}$$

em que:

F = força aplicada no êmbolo pelo *o'ring* (N);

N = força normal (N);

F_M = força motora aplicada no êmbolo (N);

P = Peso do êmbolo (N);

F_A = força de atrito estático/cinético dependendo do coeficiente de atrito (N);

μ_e = coeficiente de atrito estático;

μ_c = coeficiente de atrito cinético;

m = massa do êmbolo (kg);

ρ = massa volúmica do material do êmbolo (kg/m^3);

d = diâmetro do êmbolo (m);

h = altura do êmbolo (m);

t = tempo percorrido pelo êmbolo (s);

$x-x_0$ = distância total percorrida pelo êmbolo (m).

Para converter rotação em movimento linear e vice-versa, optou-se pelo conjunto de um veio e porca de esferas de precisão (Fig. 21), que segue a norma DIN 69051 [15], utilizados na indústria especialmente em máquinas-ferramentas, cujos elementos de rolamento do conjunto são esferas.

As principais vantagens na escolha deste tipo de conjunto de veio e porca de esferas deve-se do facto de a eficiência mecânica de uma porca é no máximo 50 %, ao passo que, uma porca de esferas pode alcançar uma eficiência mecânica até 98 % [15].

Uma menor potência requerida, ausência de deslizamentos e uma maior precisão no posicionamento. Suporta elevadas velocidades de rotação e um menor aquecimento.



Fig. 21 – Conjunto veio e porca de esferas

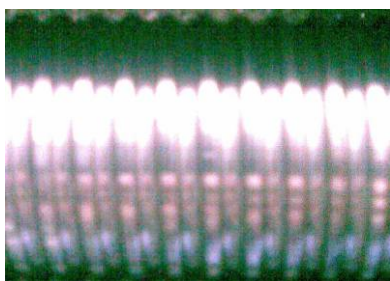


Fig. 22 – Fotografia de uma porca de esferas

A equação 6.62 referentes a cálculos de projecto referido em [15] e as equações 6.40 e 645, forças aplicadas no êmbolo, rearranjadas determinou-se a força média aplicada na porca (Eq.6.63)

$$F_M = \sqrt[3]{F_1^3 \cdot \frac{q_1}{100} + F_2^3 \cdot \frac{q_2}{100} + \dots + F_n^3 \cdot \frac{q_n}{100}} \quad \text{Eq.(6.62)}$$

em que:

F_M = força média aplicada na porca (N);

q = etapa discreta do tempo (%).

Para as forças P , $F_{\text{êmbolo}}$ e F , o valor de q é de 100 %, visto que estas forças estão sempre presentes durante a subida do êmbolo.

Para as forças F_{AE} e F_{AC} , o valor de q é de 3 % e 97 % respectivamente. A força de atrito estático está apenas presente durante o início da subida do êmbolo, no qual passa rapidamente para força de atrito cinético, que permanece até ao restante percurso do êmbolo.

$$F_M = \sqrt[3]{\left(\rho \pi \frac{d^2}{4} h g\right)^3 \cdot \frac{100}{100} + \left(\mu_e \frac{-8a^3 E_2 (d_2 + d_1) E_1}{3d_2 d_1 (E_2 v_1^2 + E_1 v_2^2 - E_2 - E_1)}\right)^3 \cdot \frac{3}{100} + \left(\mu_c \frac{-8a^3 E_2 (d_2 + d_1) E_1}{3d_2 d_1 (E_2 v_1^2 + E_1 v_2^2 - E_2 - E_1)}\right)^3 \cdot \frac{97}{100} + \mu_{ar} \frac{v_e}{f} \cdot 2\pi L r \cdot \frac{100}{100} + \left(\frac{-8a^3 E_2 (d_2 + d_1) E_1}{3d_2 d_1 (E_2 v_1^2 + E_1 v_2^2 - E_2 - E_1)}\right)^3 \cdot \frac{100}{100}}$$

Eq.(6.63)

Para determinar o momento da conversão da rotação em movimento linear, M_{ta} , e o momento da conversão do momento linear em rotação, M_{te} , aplicou-se directamente as equações 6.64 e 6.65 [15], respectivamente

$$M_{ta} = \frac{F.P}{2000.\pi.\eta} \quad \text{Eq.(6.64)}$$

$$M_{te} = \frac{F.P.\eta'}{2000.\pi} \quad \text{Eq.(6.65)}$$

em que:

M_{ta} = momento de condução (N.m);

M_{te} = momento transmitido (N.m);

F = força de serviço (corresponde à força F_M) (N);

P = ligação (mm);

η = eficiência mecânica ~ 0,9;

η' = eficiência mecânica ~ 0,8.

A potência motora, P_M , calculou-se directamente da equação 6.66 [15], que permitiu apresentar uma metodologia de cálculo do dimensionamento do fuso e respectiva motorização

$$P_{Motora} = F_M . v$$

$$P_{Motora} = F_M . \frac{\pi.D.n}{60} \quad \text{Eq.(6.66)}$$

$$P_{Motora} = F_M . \frac{\pi.D.\left(\frac{l}{p.t}\right)}{60}$$

em que:

P_{Motora} = potência motora (W);

v = velocidade (r.p.m.);

D = diâmetro do fuso (mm);

l = curso do êmbolo (mm);

p = passo (mm);

t = tempo necessário (min.)

Criou-se uma folha de cálculo (Fig. 23), que permitiu determinar todas as forças, momentos, potência, e r.p.m., introduziram-se os dados técnicos de alguns fusos e porcas existentes no mercado, permitindo assim dimensionar o *Piston-Prover*.

A tabela 13 representa as características técnicas do equipamento.

| | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------|------------|
| Pressão (bar) | Temperatura (°C) | Controlador fluxo (l/min.) | Controlador fluxo (g/min) | | |
| 10 | 20 | 12 | 12000 | | |
| Pressão (atm) | Temperatura (K) | Massa Molar (g/mol) | massa fluido (g) | | |
| 9,87 | 293,15 | 28,96 | 291,65 | | |
| Curso x-x0 (dm) | Diâmetro êmbolo (dm) | Volume (dm3) | Densidade (g/dm3) | | |
| 5 | 2,5 | 24,54 | 11,88 | | |
| Curso inicial x-x0 (m) | Altura êmbolo (m) | êmbolo | | | |
| | 0,55 | | | | |
| Coefficiente de Poisson | Módulo de elasticidade (Pa) | | | | |
| 0,300 | 7,80E+10 | | | | |
| Velocidade (m/s) | Densidade do êmbolo (kg/m3) | | | | |
| 0,34 | 7800 | | | | |
| tempo subida necessário(min.) | tempo subida necessário(s) | | | | |
| 0,0243 | 1,458 | | | | |
| Diâmetro o-ring (m) | 0,005 | o'ring | | | |
| Módulo de elasticidade (Pa) | 5,00E+08 | | | | |
| Coefficiente de Poisson | 0,46 | | | | |
| Diâmetro interno cilindro (m) | 0,25001 | cilindro | | | |
| Módulo de elasticidade cilindro (Pa) | 2,10E+08 | | | | |
| Coefficiente de Poisson | 0,3 | | | | |
| Densidade (kg/m3) | 7800 | | | | |
| Altura do cilindro (m) | 0,55 | | | | |
| Área de contacto (m) | 0,00075 | | | | |
| Força do o'ring (N) | 141,65 | | | | |
| Força do êmbolo (N) | 1684,75 | | | | |
| Força atrito estático (N) | 127,85 | Coef. atrito estático | 0,07 | | |
| Força de atrito cinético (N) | 54,79 | Coef. atrito cinético | 0,03 | | |
| Força total (N) | 1826,39 | | | | |
| Força na porca (N) | 2215,68 | | | | |
| Momento de condução (N.m) | 7,84 | | | | |
| Momento de transmissão (N.m) | 5,64 | | Diâmetro (mm) | 15 | Porca |
| Potência motora (w) | 1789,99 | | Passo (mm) | 20 | |
| | | | r.p.m. | 1028,61 | |
| | | | | 500 | curso (mm) |

Fig. 23 – Tabela de cálculo do dimensionamento do sistema mecânico

Tabela 13 – Características técnicas do *piston-prover*

| | |
|--|---------------------------|
| Diâmetro interno do êmbolo/cilindro | 250 mm |
| Altura do êmbolo/cilindro | 550 mm |
| Curso útil | 500 mm |
| Porca/Fuso | Ø 15 x 20 mm passo |
| Material | St 52 |
| Revestimento da parede do cilindro | WS2 |
| Altura máxima | 1332,5 mm |
| Comprimento máximo | 727,1 mm |
| Largura máxima | 790,6 mm |

| | |
|--------------------------------------|---------------------|
| Bancada em alumínio | 112x77x73 cm |
| Caudal nominal máximo | 12 l/min |
| Caudal nominal mínimo | 1 ml/min |
| Volume | 25 l |
| Pressão de serviço | 10 bar |
| Tempo de subida mínimo | 1,458 s |
| Potência máxima | 1790 W |
| Momento de transmissão máximo | 7,84 N.m |
| r.p.m. máximo | 1028 |

As propriedades do material utilizado (Fig. 36), assim como as fórmulas de dimensionamento da parede cilíndrica e fundo circular plano (Fig. 37) estão em anexo.

6.6. Instalação do circuito de água

A instalação do circuito de água (Fig. 24) é para haver uma circulação de água de modo a garantir não existir quaisquer trocas de calor com o equipamento.



Fig. 24 – Futuras instalações do *piston-prover*

Uma instalação muito longa, curvas, acessórios e outras limitações adicionam perdas, resultando numa redução adicional da pressão de entrada na bomba.

Pretende-se, uma instalação (Fig. 25), em que representam as entradas e saídas de água para o interior do êmbolo e cilindro. As figuras 26 e 27, representam todo o circuito da água desde do depósito por debaixo da bancada, para o interior do êmbolo e cilindro.

As condutas são em aço inoxidável, de diâmetro D (Tabela 15) e quatro joelhos a 90° e uma válvula de globo (Tabela 14).

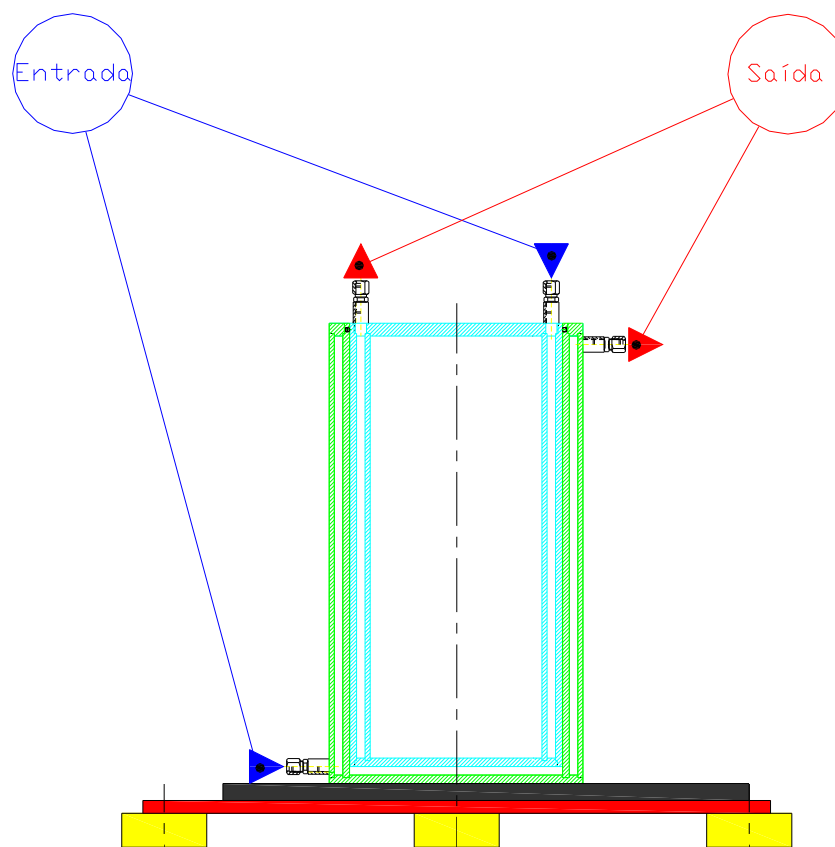


Fig. 25 – Representação das entradas e saídas de água

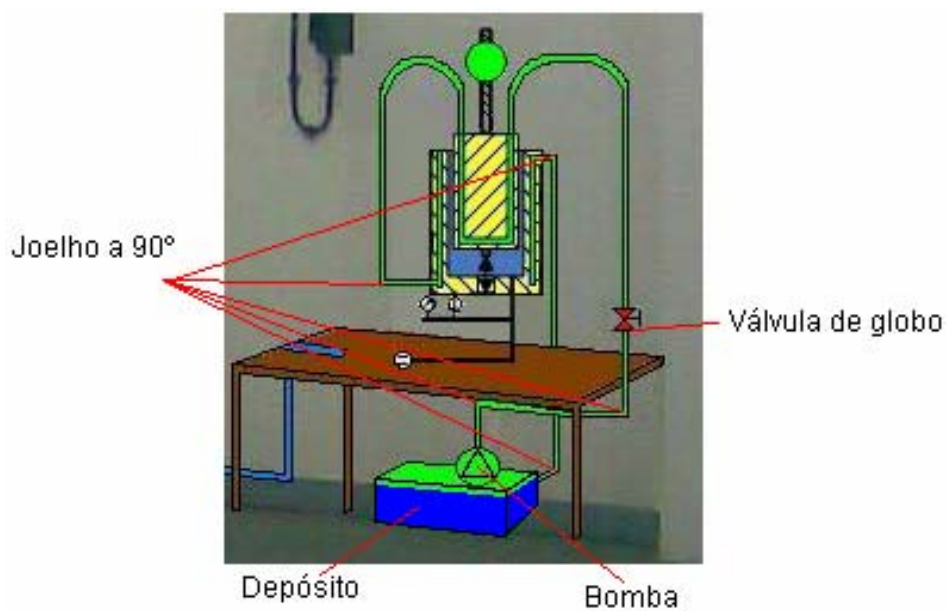


Fig. 26 – Acessórios para a instalação de água

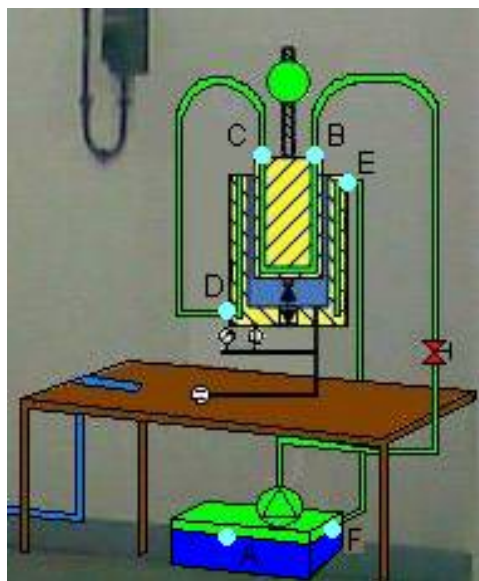


Fig. 27 – Troços para a instalação de água

Estes são os dados para o dimensionamento dos troços para a circulação da água

Tabela 14 – Coeficientes de perda de carga singular

| | |
|-------------------------|-----|
| Válvula de globo | 10 |
| Joelho a 90° | 0,9 |
| Entrada saliente | 1 |
| Entrada com aresta viva | 0,5 |
| Saída para reservatório | 1 |

Tabela 15 – Características e dimensões dos troços

| Troços | Material | Diâmetro (mm) | Comprimento dos troços (mm) | Rugosidade (mm) |
|----------|----------------|---------------|-----------------------------|-----------------|
| L_{AB} | Aço Inoxidável | D_{AB} | 2000 | 0,02 |
| L_{BC} | Aço Inoxidável | D_{BC} | 600 | 0,02 |
| L_{CD} | Aço Inoxidável | D_{CD} | 1000 | 0,02 |
| L_{DE} | Aço Inoxidável | D_{DE} | 800 | 0,02 |
| L_{EF} | Aço Inoxidável | D_{EF} | 1800 | 0,02 |

A equação 6.67, de Bernoulli de conservação da energia, permitiu determinar a curva da instalação para a circulação da água (Eq. 6.73),

$$H_B = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + Z \right)_j - \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + Z \right)_m + H_p \quad \text{Eq.(6.67)}$$

$$H_B = \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + Z \right)_j - \left(\frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + Z \right)_m + K_{\text{instalação}} \cdot Q^2 \quad \text{Eq.(6.68)}$$

em que:

H_B = altura que a bomba fornece (m);

H_p = perdas de carga na instalação;

P = pressão (J/m^3);

ρ = massa volúmica do fluido (kg/m^3);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

Z = variação de altura (m);

$K_{\text{instalação}}$ = perdas de carga devidas da instalação (s^2/m^5);

Q = caudal (m^3/s);

j = jusante da bomba;

m = montante da bomba.

A perda de carga no escoamento completamente desenvolvido numa conduta denomina-se perda de carga distribuída e a que ocorre por variação brusca de geometria como, por exemplo, num acessório, chama-se perda de carga singular ou localizada.

A instalação é constituída por associações de troços e como a velocidade média de referência depende da área da secção recta de referência do troço considerado. É preferível exprimir as perdas de carga (K) em função do caudal de volume em cada troço, relacionável com os caudais nos restantes troços pela equação de conservação da energia.

K , é um coeficiente característico do troço para as condições de escoamento e varia linearmente com o factor de atrito, f . O factor de atrito é função de Reynolds, Re , e da rugosidade relativa, ε/D , sendo determinável por recurso ao diagrama de Moody.

Em seguida, vai-se determinar analiticamente a diferença de carga em função do caudal de volume para as diferentes associações de troços de condutas. Para não complicar desnecessariamente o estudo, considerar-se-á que o escoamento ocorre em regime completamente turbulento em todos os troços, isto é, que K não depende do caudal e que, portanto, a curva $H_p = Q_v$ é parabólica. Esta hipótese é uma aproximação aceitável na maior parte das condições de escoamento numa instalação [16].

Uma vez definidos os pontos $A(m)$ a montante e $F(j)$ a jusante da bomba, pela aplicação da equação 6.69

$$H_B = \left(\frac{0}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + Z \right)_F - \left(\frac{0}{\rho \cdot g} + \frac{V^2}{2 \cdot g} + 0 \right)_m + K_{\text{instalação}} \cdot Q^2 \quad \text{Eq. (6.69)}$$

$$H_B = Z + K_{\text{instalação}} \cdot Q^2 + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad \text{Eq. (6.70)}$$

Sabe-se que a equação 6.71 [17], calcula o caudal de água no interior das tubagens

$$Q = V \cdot A \quad \text{Eq. (6.71)}$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Eq. (6.72)}$$

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} \quad \text{Eq. (6.57)}$$

Rearranjando as equações 6.72 e 6.70, obteve-se a equação 6.73 que define a curva da instalação para a circulação da água

$$H_B = Z + K_{\text{instalação}} \cdot Q^2 + \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \frac{Q^2}{\pi^2 \cdot D^4} \quad \text{Eq. (6.73)}$$

Seguidamente, estimou-se o factor de atrito, f , que permitiu calcular o diâmetro interior de todos os troços, recorrendo ao Diagrama de *Moody*, figura 28.

Admitiu-se para escoamentos em regime completamente turbulento em todos os troços, o factor de atrito estará compreendido entre os valores, $0,002 < f < 0,008$.

Optou-se para um valor intermédio, ou seja, $f = 0,004$.

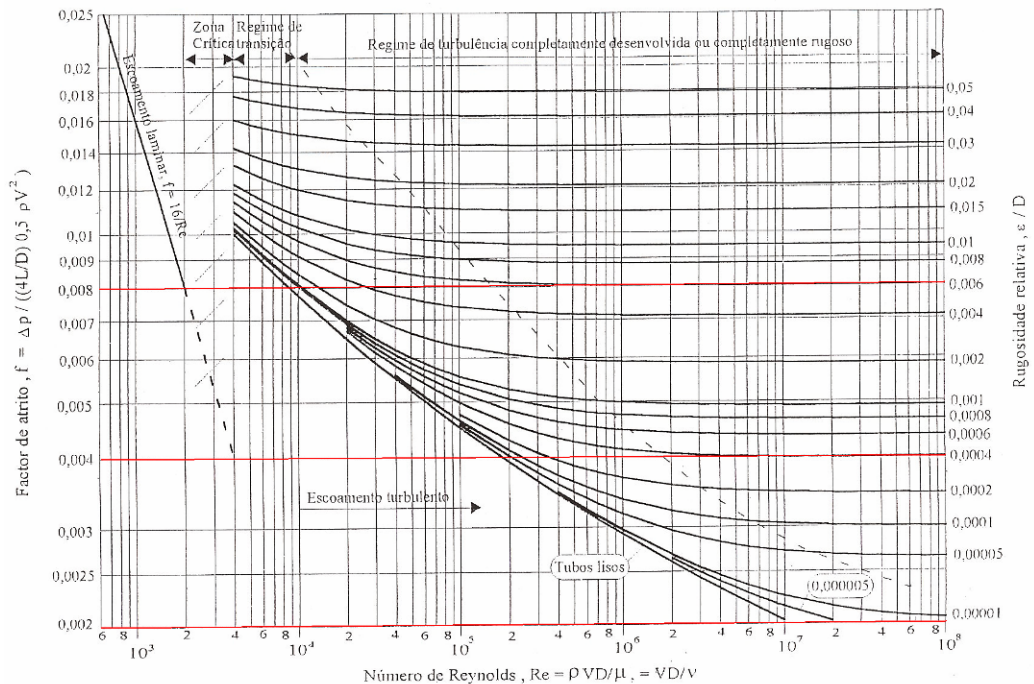


Fig. 28 – Diagrama de Moody

Pelas seguintes equações estimou-se os diâmetros internos dos troços do circuito de água:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,02}{D_{AB}} = 0,004 \Leftrightarrow \frac{0,02}{0,004} = D_{AB} \Leftrightarrow D_{AB} = 5mm$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,02}{D_{BC}} = 0,004 \Leftrightarrow \frac{0,02}{0,004} = D_{BC} \Leftrightarrow D_{BC} = 5mm$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,02}{D_{CD}} = 0,004 \Leftrightarrow \frac{0,02}{0,004} = D_{CD} \Leftrightarrow D_{CD} = 5mm$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,02}{D_{DE}} = 0,004 \Leftrightarrow \frac{0,02}{0,004} = D_{DE} \Leftrightarrow D_{DE} = 5mm$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,02}{D_{EF}} = 0,004 \Leftrightarrow \frac{0,02}{0,004} = D_{EF} \Leftrightarrow D_{EF} = 5mm$$

A condução de calor unidimensional em estado estacionário sem produção interna de calor e condutibilidade térmica é expressa pela equação 6.74

$$Q = -k.A.\frac{dT}{dr} \quad \text{Eq.(6.74)}$$

Um cilindro de raio interno a e raio externo b (Fig. 29) é feito de um material com condutividade térmica k . A temperatura no interior do cilindro é T_a e a temperatura na superfície externa é T_b e de comprimento L [7].

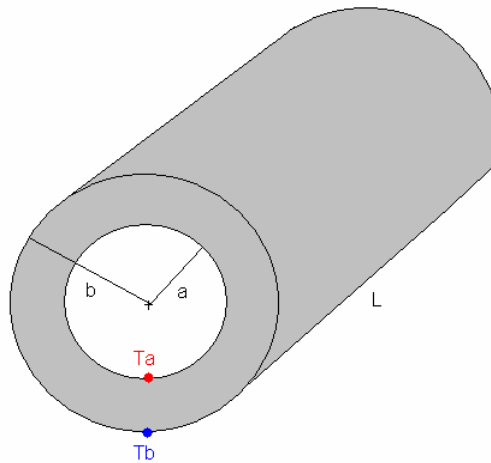


Fig. 29 – Cilindro e suas pontas a diferentes temperaturas

Para cada valor do raio, r , o calor flui através de uma área A (equação 6.75) perpendicular ao fluxo de calor e pela equação 6.77 que define o calor transferido através de um cilindro, obtém a equação 6.81, que expressa o seu fluxo de calor total libertado

$$A = 2.\pi.r.L \quad \text{Eq.(6.75)}$$

$$\frac{dQ}{dt} = -U.A.\frac{dT}{dr} \quad \text{Eq.(6.76)}$$

$$\frac{dQ}{dt} = -U.2.\pi.r.L.\frac{dT}{dr} \quad \text{Eq.(6.77)}$$

$$\frac{dQ}{dt} \int_a^b \frac{dr}{r} = -U.2.\pi.L \int_{T_a}^{T_b} dT \quad \text{Eq.(6.78)}$$

$$\frac{dQ}{dt} \ln \frac{b}{a} = -U.2.\pi.L.(T_b - T_a) \quad \text{Eq.(6.79)}$$

$$\frac{dQ}{dt} = - \frac{U \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_b - T_a)}{\ln \frac{b}{a}} \quad \text{Eq. (6.80)}$$

A expressão do coeficiente global de transmissão do calor pela equação 6.81 [17], e com base a equação 6.80, o *piston prover* terá um fluxo de calor q através da parede no êmbolo (fig. 30), segundo a equação 6.83

$$U = \frac{1}{\sum_{i=1} \frac{\Delta x_i}{k_i}} \quad \text{Eq. (6.81)}$$

em que:

Q = fluxo de calor total (W);

T = temperatura (K);

U = coeficiente global de transmissão do calor;

K = condutividade térmica do meio (W/m.K);

L = altura do cilindro (m);

T_a = temperatura no interior do cilindro (K);

T_b = temperatura na superfície externa (K);

a = raio interno do cilindro (m);

b = raio externo do cilindro (m).

$$\frac{dQ_{\hat{embolo}}}{dt} = - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{ee} - T_{cr})}{\frac{\ln \left(\frac{R_{ee}}{R_{ie} + cr} \right)}{K_{\hat{embolo}}}} \quad \text{Eq. (6.82)}$$

$$\frac{F_{arrito} \cdot d}{dt} = - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{ee} - T_{cr})}{\frac{\ln \left(\frac{R_{ee}}{R_{ie} + cr} \right)}{K_{embolo}}} \quad \text{Eq. (6.83)}$$

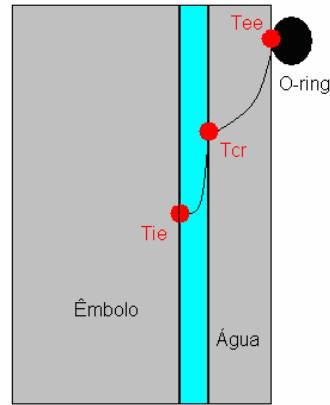


Fig. 30 – Representação da distribuição de temperaturas no êmbolo

em que:

T_{ee} = temperatura externa do êmbolo, originada pela fricção entre o *o'ring* e o êmbolo (K);

T_{cr} = temperatura do canal de refrigeração (K);

T_{ie} = temperatura interna do êmbolo (K),

F_{atrito} = força de atrito na parede do êmbolo (N);

L = altura do êmbolo (m);

d = distância percorrida pelo êmbolo (m);

dt = intervalo de tempo percorrido pelo êmbolo (s).

Igualmente, do mesmo modo obtém-se a equação 6.85, que estima o fluxo de calor q através das superfícies do cilindro (Fig. 31)

$$\frac{dQ_{cilindro}}{dt} = -U \cdot 2 \cdot \pi \cdot L \cdot r \cdot \Delta T_{Total} \quad \text{Eq. (6.84)}$$

$$\frac{F_{atrito} \cdot d}{dt} = - \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_{ee} - T_{ic})}{\frac{\ln\left(\frac{R_{ee}}{R_{ic}}\right)}{K_{ar}}} \quad \text{Eq. (6.85)}$$

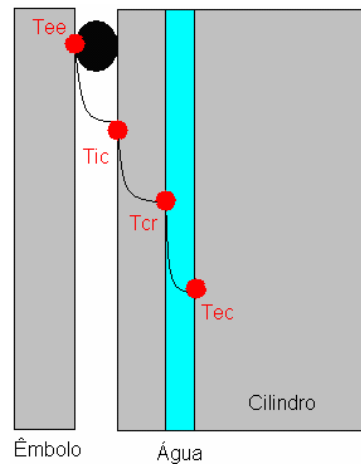


Fig. 31 – Representação da distribuição de temperaturas no cilindro

em que:

T_{ee} = temperatura externa do êmbolo, originada pela fricção entre o *o'ring* e o êmbolo (K);

T_{ic} = temperatura interna na parede do cilindro (K);

T_{cr} = temperatura do canal de refrigeração (K);

T_{ec} = temperatura externa na parede do cilindro (K);

F_{atrito} = força de atrito na parede do êmbolo (N);

L = altura do cilindro (m);

d = distância percorrida pelo êmbolo (m);

dt = intervalo de tempo percorrido pelo êmbolo (s).

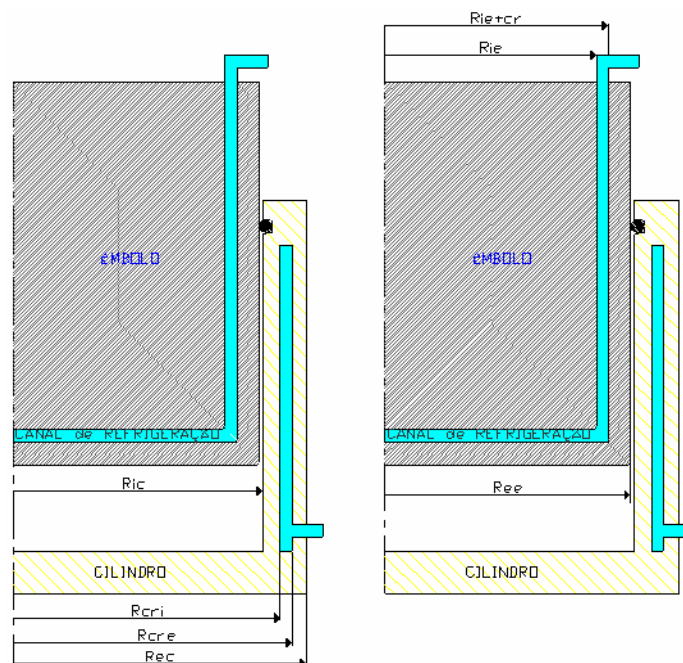


Fig. 32 – Representação das cotas do êmbolo e cilindro

R_{ie} = raio interior do êmbolo (m);

$R_{ie} + cr$ = raio interior do êmbolo + diâmetro do canal de refrigeração (m);

R_{ee} = raio exterior do êmbolo (m);

R_{ic} = raio interior do cilindro (m);

R_{cri} = raio da coluna de refrigeração interior (m);

R_{cre} = raio da coluna de refrigeração exterior (m);

R_{ec} = raio exterior do cilindro (m).

Recorrendo às equações 6.83 e 6.85, determinou-se a temperatura externa no êmbolo, originada pela fricção entre o *o'ring* e o êmbolo e entre o *o'ring* e o cilindro respectivamente, para uma temperatura de serviço de 20 °C:

$$T_{ee} = T_{cr} - \frac{d.F_{atrito} \cdot \ln\left(\frac{R_{ee}}{R_{ie} + cr}\right)}{2.K_{embolo} \cdot \pi \cdot L \cdot dt} \quad \text{Eq. (6.86)}$$

$$T_{ee} = 293,155 - \frac{0,500.54,79 \cdot \ln\left(\frac{0,125}{0,125 + 0,005}\right)}{2.47 \cdot \pi \cdot 0,550 \cdot 1,458}$$

$$T_{ee} = 293,155 - (-0,004537)$$

$$T_{ee} = 293,159K = 20,009^\circ C$$

$$T_{ic} = \frac{d.F_{atrito} \cdot \ln\left(\frac{R_{ee}}{R_{ic}}\right)}{2.K_{ar} \cdot \pi \cdot L \cdot dt} + T_{ee} \quad \text{Eq. (6.87)}$$

$$T_{ic} = \frac{0,500.54,79 \cdot \ln\left(\frac{0,125}{0,125}\right)}{2.100 \cdot \pi \cdot 0,550 \cdot 1,458} + 293,159$$

$$T_{ic} = 293,159K = 20,009^\circ C$$

Observou-se que o aumento de temperatura, nas paredes do êmbolo e nas paredes do cilindro, provocada pela fricção com o *o'ring* em velocidade máxima, é de 0,009 °C, ou seja, um valor bastante baixo.

A introdução dos canais para a circulação de água tem principalmente o objectivo em garantir que não haja quaisquer trocas de calor entre o sistema e o meio envolvente e uma uniformização da temperatura do êmbolo e cilindro, de modo a garantir que as propriedades do gás não são alteradas durante o percurso do êmbolo.

6.7. Sistema de Instrumentação

Um sistema automático é constituído fundamentalmente por dois subsistemas:

Processo: sistema de produção, que executa os objectivos do sistema automático, através de equipamentos dedicados devidamente accionados e controlados, como por exemplo máquina-ferramenta, robô, instalação de galvanização, instalação de iluminação e climatização.

Automatismo: sistema de controlo, é o que nos enquadra para o presente projecto. Quer comando ou/e regulação do processo, que recebe informações de operador humano através de um interface homem-máquina e informações do processo por meio de um sistema sensório e que fornece ordens de comando ou acções de regulação aos manobreadores que alimentam os actuadores do processo.

Os PLC's (*Programmable Logic Controllers*) são vulgarmente conhecidos por “autómatos programáveis”.

Um controlador programável é um aparelho electrónico que se pode programar por software, destinado a pilotar processos lógicos sequenciais e máquinas em ambiente industrial.

A sua utilização nos automatismos tem vindo a ser cada vez maior, dando à “lógica programada” um significado económico crescente relativamente à “lógica cablada”.

As vantagens dos controladores programáveis justificam a sua preferência na moderna automação [18]:

- Redução de custo da instalação;
- Ganho de tempo da instalação;
- Facilidade de manipulação;
- Elevada fiabilidade;
- Rápida localização e eliminação de erros;
- Flexibilidade da instalação (maior nível técnico).

O desenvolvimento dos controladores programáveis atingiu preços atractivos, tanto em pequenas funções como em desempenhos mais complexos, sobretudo devido às razões seguintes:

- Crescente divulgação das aplicações da electrónica;
- Enorme redução do custo dos componentes electrónicos;
- Desenvolvimento dos microprocessadores;
- Miniaturização dos circuitos das memórias.

A combinação das possibilidades de comando sequencial dá aos controladores programáveis a possibilidade de satisfazer às exigências de controlo de processos contínuos

e descontínuos, regulação de pressão, temperatura, nível ou caudal, e garante todas as funções de temporização, cadência, contagem ou lógica associada [18].

6.7.1. Estrutura de um controlador programável

Estruturalmente, um autómato programável é constituído pelos módulos essenciais seguintes:

- Dispositivo de alimentação: garante a transformação da energia eléctrica, fornecida pela rede de distribuição, em tensões contínuas exigidas pelos componentes electrónicos.
- Carta interface entradas/saídas (E/S ou I/O): garante a transformação e a adaptação dos sinais eléctricos fornecidos pelos sensores ao autómato (mudança de nível de tensão, isolamento, filtragem) e dos sinais enviados pelo autómato aos manobreadores dos accionadores.
- Carta processador: lê e interpreta as instruções constituintes do programa inscrito na memória donde conclui as operações a realizar.
- Carta memória: componentes electrónicos que garantem a memorização do programa, dados (sinais de entrada) e ordens (sinais de saída).

Além disso, é necessário utilizar uma consola de programação ou terminal de comunicação homem/máquina (inútil na exploração industrial do autómato) que permite ao operador escrever e modificar o programa como também fazer ensaios e afinações (regulações manuais) do sistema [18].

6.7.2. Utilização do autómato

Um controlador lógico programável é um equipamento electrónico de cablagem interna, independentemente do processo a controlar (hardware do autómato). Adapta-se ao processo (máquina ou instalação) por meio de um programa que define o modo de desenrolamento das operações desejáveis (software do autómato) e de uma cablagem directa com os elementos de entrada e de saída. As entradas referem-se aos auxiliares de comando (contactos fins de curso, detectores de proximidade ou qualquer tensão ou corrente analógicas). As saídas dizem respeito aos manobreadores de potência (contactores, electroválvulas, dispositivos de acoplamento) ou lâmpadas de sinalização.

Para que o autómato possa trabalhar tem que se armazenar o programa na sua memória interna. Consoante o tipo de memória interna de programa distinguem-se dois tipos de controladores programáveis:

- Autómato de programação livre: equipado com memória viva (RAM), na qual o programa pode ser introduzido sem dispositivo particular por meio da consola de programação. Permite ler o programa armazenado. A memória viva perde o seu programa em caso de falta de tensão, o que se pode evitar por meio de bateria tampão.
- Autómato de programação intermutável: equipado com memória morta (PROM, EPROM), que deve ser mudada em caso de modificação do programa. As memórias EPROM podem ser apagadas por raios ultravioletas e ser depois reprogramadas. Uma vez programadas, as memórias PROM não podem ser modificadas, pelo que será necessária a sua substituição por outra PROM com o novo programa se houver necessidade de alterar o programa do autómato [18].

6.7.3. Processador

O processador lê permanentemente e a grande velocidade os estados lógicos (0 ou 1) dos sinais provenientes dos sensores periféricos (entradas) em função do programa armazenado na memória e em dado momento elabora e transmite as ordens de saída para os actuadores.

O autómato programável possui um tempo de resposta que é função do tempo de ciclo. O tempo de leitura do programa é evidentemente função do número das informações, mas na maioria dos casos é da ordem de alguns ms (inferior a 10 ms). Por isso, qualquer modificação do estado de uma entrada gera quase instantaneamente com sinal de saída que após exploração pode comandar um actuador.

Num sistema de tratamento de informação o processador é a unidade funcional capaz de interpretar e de executar as instruções do programa.

Do ponto de vista tecnológico, o processador pode ter duas concepções tecnológicas:

- Processador cablado: todas as funções são realizadas com componentes, tais como, portas, básculas, registos, etc., associados por cablagem.
- Processador microprogramado: as funções são executadas utilizando um programa elementar interno ao processador e contido numa memória de comando. Se cada função é comandada por uma instrução, cada tipo de instrução corresponde a um microprograma. É esta solução que mais se usa actualmente, quer associada à concepção cablada, quer realizada por um microprocessador (circuito integrado complexo que garante as funções do processador).

Alguns autómatos programáveis têm uma arquitectura de multiprocessadores, solução que permite uma grande continuidade de funcionamento do automatismo, pois a avaria de um processador provoca a sua substituição por outro [18].

6.7.4. Interface Entradas/Saídas

As entradas-saídas ligam o autómato aos equipamentos exteriores do automatismo.

Os módulos interfaces de entradas garantem a adaptação do nível, isolamento e filtragem dos sinais emitidos pelos diferentes sensores montados no processo. Portanto são ligados a órgãos de comando:

- Manuais: botões de premir, comutadores, selectores, etc;
- Automáticos: fim de curso de comando mecânico, detectores de proximidade indutivos ou capacitivos, células fotoeléctricas, sensores de velocidade, nível ou pressão, etc.

Os módulos interfaces de saídas garantem o nível adequado do sinal de saída e o seu isolamento da electrónica do autómato. Transmitem as ordens aos órgãos de manobra e actuadores: motores, electroválvulas eléctricas, hidráulicas ou pneumáticas, impressoras, sinalizadores, etc [18].

6.7.5. Programação de Autómatos

A consola ou terminal de programação de um autómato é utilizada para escrever e preparar programas. Algumas consolas permitem ensaios do arranque da instalação. A consola é constituída por um teclado e um visualizador.

Sobre as teclas do teclado são colocados símbolos para a conveniente escrita do programa: letras, algarismos, sinais específicos, etc. O visualizador mostra as linhas do programa que vão sendo batidas ou que estão registadas e conservadas em memória.

Estabelecer um programa consiste em escrever, através das instruções de base e das referências atribuídas às variáveis, a série de expressões que descrevem as operações lógicas ou digitais a executar. As instruções são ordens elementares que permitem efectuar operações a partir de informações fornecidas pelos sensores (variáveis de entrada) e os auxiliares de comando com intervenção humana. Os resultados destas operações podem intervir sobre variáveis de saída ou variáveis internas.

Para que o autómato possa decifrar e interpretar as instruções contidas no programa é preciso que elas sejam escritas a partir de um código adaptado. Por isso as instruções de base e a referenciação das variáveis são próprias a cada família de autómatos [18].

O autómato é constituído pelos seguintes módulos (Fig. 33):

Dispositivo de alimentação: Power Supply Unit CJ1W-PA202

Garante a transformação da energia eléctrica, fornecida pela rede de distribuição, em tensões contínuas exigidas pelos componentes electrónicos.

Interfaces de Entrada: Sensor de Temperatura RTD (PT 100) PR-10-2-100-1/4-6-E

Garante a leitura da temperatura do gás entre -200 a 600 °C e o Transmissor de Pressão E913-023-B22R faz a leitura da pressão do gás entre 0 a 10 bar, que depois emitem como sinal de entrada à carta de memória.

Carta de processador: CPU CJ1M-CPU13

Lê e interpreta as instruções constituintes do programa inscrito na memória donde conclui as operações a realizar.

Carta de interface Entrada/Saídas: Unidade de E/S CJ1W-MAD42

Garante a transformação e a adaptação dos sinais eléctricos fornecidos pelos sensores ao autómato e dos sinais enviados pelo autómato aos manobreadores dos accionadores.

Interface de Saída: Position Control Unit CJ1W-NC133

Consoante a posição do êmbolo, transmite as ordens ao órgão de actuador Rotary Servo Drive SGDh-20DE-OY que por sua vez este transmite as ordens ao órgão de manobra Rotary Servo Motor SGMGH-20DCA6H-OY para o êmbolo subir ou descer.

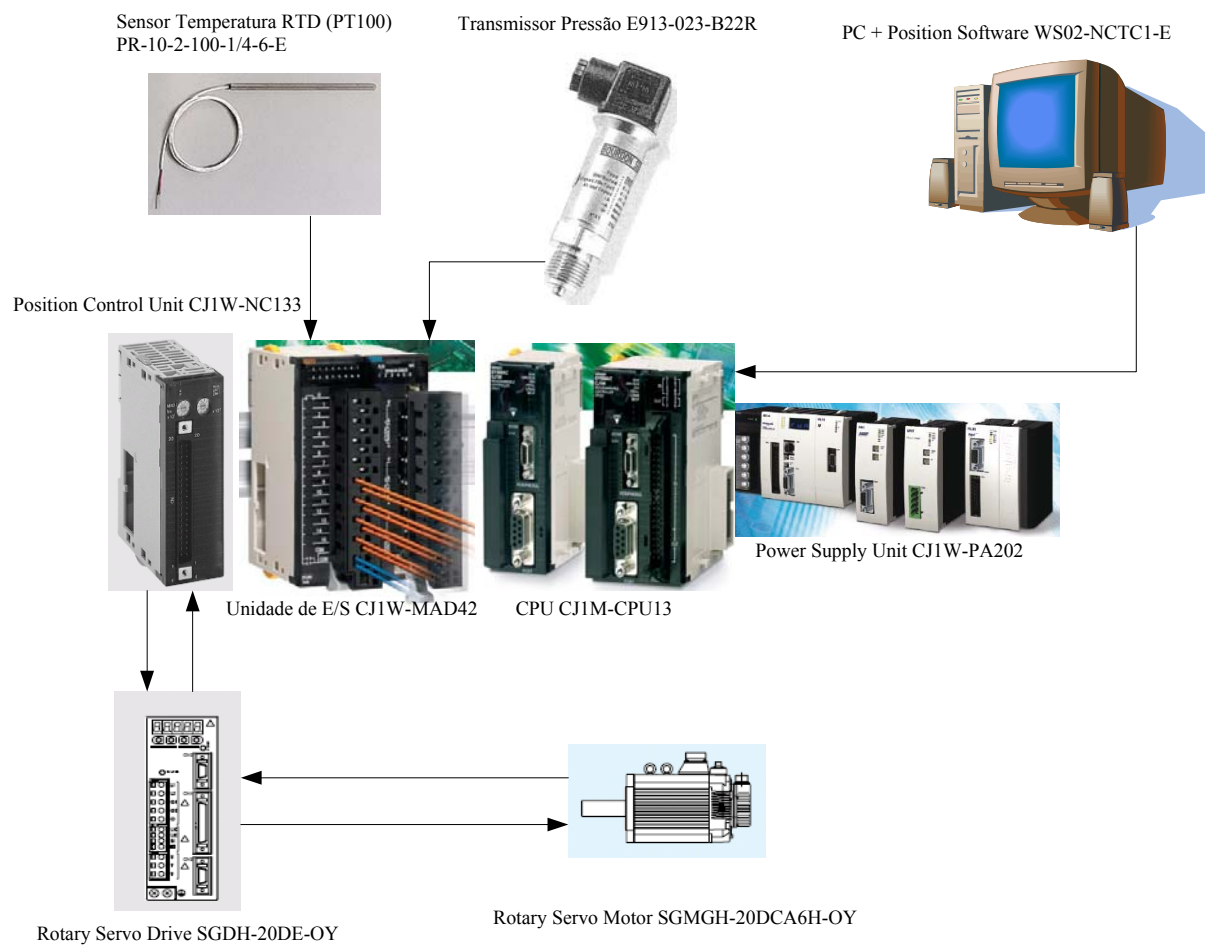


Fig. 33 – Sequência de montagem dos componentes

Capítulo 7. Orçamentação

Este capítulo, tem por objectivo determinar o valor mais aproximado possível do *piston-prover*, ou seja, fazer uma previsão de todas as despesas necessárias para a sua execução, partindo dos valores parcelares despendidos em todos os actos referentes a ela.

Estes valores parcelares serão estabelecidos, umas vezes por valores que a prática nos ensina, outras por previsão dos preços referentes a cada acto, outras ainda por cálculos simples respeitantes à forma e dimensões da obra, e, regra geral, pela associação destes e outros processos.

Este documento é mais correctamente designado por *proposta de preço*. Na verdade, ele representa uma possível proposta do valor que uma empresa faz ao cliente.

A apresentação duma proposta de preço implica, necessariamente, o estabelecimento dum orçamento, pois não se compreende que uma empresa se proponha fazer determinado trabalho, por certo preço, sem previamente ter estudado as despesas que terá de fazer para o realizar. De resto, toda e qualquer actividade industrial necessita de uma previsão de despesas, isto é, de orçamento, seja para o total do seu funcionamento, seja para todos os produtos da sua actividade.

A organização do orçamento está intimamente relacionada com os preços de custo e de venda.

O *preço de custo* é a despesa que exige a realização da obra.

O *preço de venda* é o montante que o cliente paga por ela.

O orçamento estuda as despesas a realizar e procura, através delas, estabelecer um preço de venda de modo que a empresa possa continuar a sua actividade em condições de progresso.

O preço de venda obtém-se acrescentando ao preço de custo a percentagem de lucro e risco e as despesas correspondentes à comercialização do produto [19].

7.1. Os elementos fundamentais de que depende o orçamento

7.1.1. As matérias – primas

Dá-se o nome de matérias-primas, numa indústria qualquer, àqueles produtos que nela entram em bruto ou em qualquer estágio de acabamento, para nela sofrerem uma transformação.

Dá-se o nome de produto acabado, na mesma indústria, a qualquer produto que dela sai depois de ter sofrido lá uma transformação.

É de notar que esta noção de matéria-prima e produto acabado pode ter um sentido mais genérico. Nesse sentido, dá-se o nome de matérias-primas aos produtos fornecidos

pela Natureza e que não podem ser utilizados directamente pelo Homem; e dá-se o nome de produtos acabados, àqueles que, seja qual for o ciclo de transformações por que passaram, já podem ser directamente utilizados pelo Homem.

Designam-se, ainda, por produtos semifabricados ou semiprodutos aqueles que já sofreram uma transformação, mas que não têm uma utilização directa sem que sofram nova transformação. É o caso, por exemplo, dos perfilados, chapas, barras de cobre, etc., que embora já tenham sido trabalhados, destinam-se a ser novamente trabalhados para uma aplicação final.

As matérias-primas são adquiridas no mercado, quer nacional quer estrangeiro, mas de qualquer modo são computados nos orçamentos pelo seu preço unitário, posta a mercadoria no local de aplicação.

Nestas circunstâncias, o cálculo do quantitativo referente a matérias-primas limita-se à determinação da quantidade de material utilizado. Esta quantidade de material será multiplicada pelo preço unitário para dar o quantitativo total referente a esta despesa.

É preciso notar que, no cálculo dos quantitativos para o estabelecimento da despesa com matérias-primas, deve ter-se em consideração os desperdícios de material que sempre resultam na realização de qualquer trabalho, seja por material que se retira para acabamento da peça, seja por peças que se inutilizam [19].

7.1.2. A mão-de-obra

Designa-se por mão-de-obra o tempo despendido pelo operário ou operários na execução da obra. Esse tempo ou tempos, multiplicado pelos salários dos respectivos operários é depois somado, e o seu total constitui a despesa com salários ou mão-de-obra.

Naturalmente que o cálculo destes tempos de execução da obra não pode considerar-se apenas o tempo que o operário perde a operar directamente na obra, mas há que considerar também o tempo que ele é forçado a perder em operações preliminares, tais como: colocação da peça na máquina-ferramenta, se vai ser trabalhada desse modo, preparação da máquina, execução de medidas, estudo do plano de trabalho, etc. Estes tempos auxiliares da operação, muito importantes, são em geral mais difíceis de estimar que os próprios tempos de operação, pois estes são mais normalizados ou dependem das máquinas que têm um ritmo de trabalho fixo. Por esta razão, para o estabelecimento destes tempos é preciso ter um conhecimento muito razoável das diversas operações.

Outro problema discutível é o da despesa com máquinas. As máquinas, no fundo, substituem o esforço físico do homem e, embora as despesas com elas não representem salários pagos, pode, com relativa facilidade e regular aproximação, determinar-se a despesa a que corresponde em cada hora de trabalho.

Assim, seja considerada como mão-de-obra, seja como despesa independente, não nos parece difícil separá-la dos gastos gerais.

A determinação da despesa horária duma máquina constitui, no final, a determinação dum preço composto, e para a determinação do qual é necessário, sem dúvida, que a empresa tenha organizado um serviço de contabilidade que forneça os elementos indispensáveis para esse estudo [19].

7.1.3. Tempos de trabalho

No cálculo dos preços e nos orçamentos, têm de se considerar as verbas correspondentes a salários e a despesas com máquinas-ferramentas. Para o cálculo dessas verbas, é necessário conhecer os tempos que os operários dependem na execução da obra e o tempo durante o qual as máquinas estão ocupadas com ela.

A determinação destes tempos é sempre um problema difícil. No entanto, é preciso dedicar-lhe a maior atenção e procurar estabelecê-los com maior rigor possível, pois não só as verbas correspondentes a salários e despesas de máquinas vão fazer parte integrante do preço do custo da obra, como dessas verbas se deduzem outras, por percentagens (seguros e encargos sociais, despesas gerais, etc.), que igualmente vão fazer parte do preço do custo da obra. Portanto, se os tempos de trabalho são fixados sem certo rigor, várias verbas vêm afectadas desse erro, e daí resulta, por certo, um orçamento errado. Ora, dum orçamento errado resulta sempre prejuízo para a empresa produtora porque, se o preço de venda sai elevado, o cliente não compra, e a empresa perde por não vender, pois deixa de ganhar; se o preço de venda sai baixo, o cliente compra, mas não deixa lucro ou deixa prejuízo, o que é mais grave.

O facto de os tempos de trabalho influírem muito no valor do orçamento justifica para eles a maior atenção e cuidado.

Na determinação dos tempos de trabalho há a considerar os casos:

1.º O trabalho é realizado exclusivamente pelo operário, como por exemplo, nos trabalhos de ajustagem, montagem, etc;

2.º O trabalho é realizado pela acção conjunta do operário e da máquina, como por exemplo, no fabrico de pernos roscados, de peças estampadas, etc., em produção semiautomática;

3.º O trabalho é realizado totalmente pela máquina, como por exemplo, no fabrico em grandes séries de estampados (rebites, pregos, cápsulas), de parafusos simples, etc.

Em qualquer dos casos, o que condiciona o estudo é o volume da obra a realizar, pois não se concebe uma produção totalmente automatizada para obter umas dezenas de peças, como se torna inaceitável uma produção de milhares com trabalho puramente

manual. O caso mais comum é o da produção pelo binário operário-máquina, pois este alia à condição de rendimento a condição de adaptabilidade a trabalhos diferentes.

O terceiro sistema, isto é, o da produção em cadeia automatizada, por ser dependente de sistemas mecânicos, o seu estudo pode realizar-se por cálculo analítico, que resulta do estudo dos movimentos das máquinas que o realizam. O trabalho manual é mais adverso ao cálculo, por estar sujeito às variações de ritmo próprias da máquina humana e, por essa razão, é menos exacto. No caso da produção operário-máquina há a considerar os dois aspectos anteriores [19].

7.1.4. Operações manuais

Nas operações realizadas manualmente não há possibilidade de cálculo analítico, pois não se pode estabelecer uma lei a que elas obedeçam, por estarem sujeitas às variações de ritmo próprias da máquina humana.

Neste caso, mais do que em qualquer dos outros, o volume da obra condiciona o estudo, ou melhor, o número de vezes que um dado acto se realiza justifica o seu estudo mais ou menos cuidado. Se um dado acto se realiza muitas vezes, justifica-se o seu estudo detalhado e a cronometragem; se, pelo contrário, apenas há que o considerar poucas vezes, pode considerar-se no todo e determinar-se o tempo que leva a executar em uma ou duas experiências, ou mesmo arbitrar-se por estimativa. Em muitos casos, a estimativa é feita por analogia com outros trabalhos já estudados ou por registos existentes no gabinete de estudos que dão esses valores.

Salienta-se, desde já, que os trabalhos em grande série não se realizam, em geral, manualmente, mas quando tal acontece, como, por exemplo, na montagem de peças para formar um conjunto, então, justifica-se o estudo dos tempos, como se pode justificar a cronometragem e a decomposição do trabalho em actos elementares para preparação do posto de trabalho. Tudo depende do número de vezes que tal montagem se realize.

Quando o trabalho se repete menos vezes não se justifica um estudo tão detalhado. Deve, no entanto, estudar-se e reunir tantos dados quantos possível. Os elementos obtidos num estudo, se forem arquivados, podem ser muito valiosos para trabalhos futuros. Não se deve esquecer que a empresa tem de continuar no futuro e é na boa organização, com arquivo da experiência, que ela encontra bases para progredir. Esses elementos colhidos podem constituir dados e tabelas para utilização em futuros estudos [19].

7.1.5. Operações mecânicas

Neste caso, uma parte do trabalho é realizada pelo operário - podemos chamar-lhe trabalho manual - outra parte é realizada pela máquina - podemos chamar-lhe trabalho mecânico.

O tempo de trabalho mecânico pode determinar-se, analiticamente, em função dos movimentos das máquinas.

O estudo do tempo da parte do trabalho manual depende, essencialmente, do número de peças iguais a trabalhar. Se o número de peças iguais a realizar é pequeno, não se justifica um estudo detalhado do tempo de trabalho manual e o seu valor estabelece-se por estimativa, utilizando elementos de registo existentes no gabinete de estudos. Este é o caso de oficinas que se dedicam a trabalhos variados de reparação.

Quando o número de peças iguais a fabricar aumenta, justifica-se já, um estudo mais detalhado do tempo de trabalho manual e torna-se necessária a existência de registos de tempos correspondentes a pequenas operações, como: tempo de montar ferramentas; tempo de fixar uma peça na bucha do torno; tempo de medida dum diâmetro, etc. Estes tempos permitirão, pela decomposição do trabalho manual em pequenas operações, a determinação do tempo total, com certo rigor. Para este efeito, é necessário que o gabinete de estudos possua quem saiba fazer cronometragem destas operações. Este será o caso de oficinas que trabalham por encomenda ou no fabrico de pequenas quantidades.

Se, porém, a empresa se dedica ao fabrico de grandes quantidades, para entrar em concorrência nos mercados, então, é indispensável que a sua organização lhe permita um estudo cuidado e pormenorizado dos tempos do trabalho, porque é do rendimento e, portanto, dos tempos de trabalho que depende, fundamentalmente, a economia na produção.

A necessidade dum departamento que estude os tempos de trabalho e que deles estude as condições de obtenção do melhor rendimento. O problema que agora se apresenta, do estudo dos tempos de trabalho para a organização do orçamento, é mais um problema de cálculo desses tempos através da análise do trabalho a estudar e baseado nos elementos que o departamento dos tempos de trabalho possa fornecer. Isto é, em face dum trabalho para orçar, teremos de estudar cada uma das tarefas para a sua realização e decompô-las em actos mais ou menos elementares, conforme os actos cronometrados que existam nos arquivos do gabinete de estudos e conforme o número de tarefas o justificar.

Como o gabinete de estudos tem o registo dos tempos correspondentes a cada acto, para acharmos o tempo correspondente às tarefas basta somar os tempos dos actos em que as decompusermos. O tempo de trabalho total é o tempo soma de todas as tarefas, quer as de realização manual, quer as de realização mecânica.

Deve notar-se, que, em alguns trabalhos, a parte de trabalho manual é grande em relação à parte de trabalho mecânico (é o caso de peças que são trabalhadas em pequenas superfícies); em outros, a parte de trabalho manual é pequena em relação à parte de

trabalho mecânico (é o caso de peças que são trabalhadas em grandes superfícies). Compreende-se que, quanto maior for a percentagem de trabalho manual, maior cuidado se deve pôr no seu estudo, pois maior será a influência no orçamento [19].

7.2. Cálculo do orçamento do Sistema Mecânico

Para a fabricação do *piston-prover*, há vários processos de trabalho dos materiais que se aplica para dar forma definitiva e sua medida final.

Neste processo, temos duas operações:

- Torneamento - consiste em torneiar o diâmetro exterior do êmbolo, para retirar o excesso de material;
- Furação - consiste em furar o corpo do cilindro e o êmbolo, para a instalação da circulação da água de refrigeração;

7.2.1. Tempo de trabalho no torneamento

A operação de torneamento (Fig. 34) do diâmetro exterior do êmbolo, implica a operação de cilindrar a peça em que o movimento se realiza paralelamente ao eixo da peça e em simultâneo os movimentos de avanço e corte em operação contínua.

A velocidade de corte, é a velocidade com que se desloca a ferramenta em relação ao material ou o material em relação à ferramenta, que corresponde à velocidade periférica da peça, que é dada pela equação 7.1 [19]

$$V_c = \pi.d.n \quad \text{Eq.(7.1)}$$

Sendo v_c a velocidade de corte, d o diâmetro da peça e n o número de rotações que dá a peça por unidade de tempo.

Habitualmente, a velocidade de corte exprime-se em m/min, os diâmetros exprimem-se em milímetros e o n exprime-se em rot/min. Com essas unidades a equação 7.2

$$V_c = \frac{\pi.d.n}{1000} \text{ m/min} \quad \text{Eq.(7.2)}$$

Para que o arranque da apara seja contínuo, é necessário que, simultaneamente com o movimento de rotação da peça, se realize o movimento da ferramenta no sentido de avançar sobre o material a cortar. Este movimento, chamado *movimento de avanço*, exprime-se em milímetros de deslocamento da ferramenta por cada rotação da peça. Este avanço representa a largura da secção da apara, sendo o comprimento da mesma secção representado pelo número de milímetros que o nariz da ferramenta penetra no material e que se chama *penetramento*.

Como a é o movimento de avanço por rotação, para torneiar o comprimento l , pela equação 7.3 estimam as revoluções necessárias

$$N = \frac{l}{a} \text{ revoluções} \quad \text{Eq.(7.3)}$$

Sendo n o número de revoluções por minuto, o tempo em minutos para uma revolução, será dada pela equação 7.4

$$t = \frac{1}{n} \quad \text{Eq.(7.4)}$$

Pelas equações 7.3 e 7.4, obtém-se a equação 7.9, que permite estimar o tempo de torneamento necessário

$$T = t.N = \frac{1}{n}.N \quad \text{Eq.(7.5)}$$

Usando a equação 7.2, chegamos à equação 7.6

$$n = \frac{1000.V_c}{\pi.d} \text{ rot./min.} \quad \text{Eq.(7.6)}$$

Finalmente, as equações 7.3, 7.5 e 7.6 permitem chegar à equação 7.7, que estima o tempo necessário para o torneamento

$$T = \frac{\pi.d.l}{1000.V_c.a} \text{ minutos} \quad \text{Eq.(7.7)}$$

em que:

V_c - velocidade de corte (m/min.) [20];

a - movimento de avanço (mm/rot.) [20];

n - número de rotações (rot./min.);

d - diâmetro a torneiar (mm);

l - comprimento a torneiar (mm).

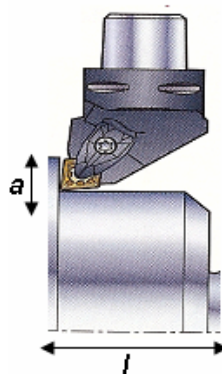


Fig. 34 – Parâmetros do torneamento

7.2.2. Tempo de trabalho na furação

O estudo que vamos fazer e as fórmulas que estabelecemos referem-se, em especial, à furação (Fig. 35) comum em peças maciças, mas poderão aplicar-se, em geral,

para os outros trabalhos nas máquinas de furar, os quais diferirão, fundamentalmente, destes pelos valores das velocidades de corte e de penetramento.

Dado que a furação se realiza com a ferramenta em movimento de rotação e que a velocidade de corte varia ao longo do gume - é máxima na periferia e decresce para o eixo da broca - considera-se como velocidade de corte a velocidade no ponto mais afastado do eixo, isto é, o da periferia da broca. Nessas circunstâncias, a velocidade de corte está relacionada com o diâmetro da broca e com o número de rotações que esta dá, pela equação 7.2

Como na furação, a ferramenta - a broca - varre toda a área a trabalhar, não há a considerar movimento de avanço. Os movimentos a considerar são pois: movimento principal ou de corte - movimento de rotação da broca - e movimento de penetramento - movimento axial da broca. O movimento de corte exprime-se, geralmente, em m/min. e o movimento de penetramento exprime-se em mm/rev.

Como e é o penetramento por revolução, para penetrar a altura h , pela equação 7.8 estimam as revoluções necessárias

$$N = \frac{h}{e} \text{ revoluções} \quad \text{Eq.(7.8)}$$

Sendo n o número de revoluções por minuto, o tempo em minutos para uma revolução, será dada pela equação 7.4

Pelas equações 7.4 e 7.8, obtém-se a equação 7.9, que permite estimar o tempo de furação necessário

$$T = t.N = \frac{1}{n}.N \quad \text{Eq.(7.9)}$$

Usando a equação 7.6, chegamos equação 7.10, que estima o tempo necessário para a furação

$$T = \frac{\pi.d.h}{1000.V_c.e} \text{ minutos} \quad \text{Eq.(7.10)}$$

em que:

V_c - velocidade de corte (m/min.) [21];

e - penetramento (mm/rev.) [21];

n - número de rotações (rot./min.);

d - diâmetro do furo (mm);

h - altura do furo (mm).

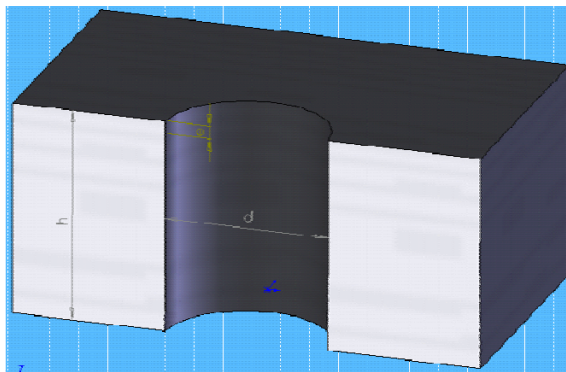


Fig. 35 – Parâmetros da furação

7.2.3. Tempo e características económicas de soldadura

O cálculo do preço de uma soldadura é aparentemente simples. Todavia, depende essencialmente não apenas do tipo de ligação, da segurança exigida, etc. mas das condições de trabalho das oficinas [22].

A sua utilização, permite determinar especialmente:

- o número de eléctrodos a utilizar, para um determinado trabalho.
- o tempo aproximado necessário à soldadura do mesmo trabalho.

As preparações de soldadura, podem ser previamente definidas (forma dos chanfros, diâmetro do eléctrodo a utilizar, intensidade de soldadura, etc.) sendo fácil determinar:

- quer o volume
- quer o peso de metal a depositar

Conhecendo, estes dois elementos primordiais, será mais fácil de determinar o preço de custo da operação de soldadura [22].

Os dois métodos mais conhecidos, são os seguintes:

- obtenção do preço por metro linear de soldadura: é especialmente função da espessura das chapas, da forma dos chanfros, dos valores das alturas escolhidas em soldadura de ângulo.
- obtenção do preço por quilo do metal depositado. Este valor é muito exacto e rápido.

A inclusão do lucro no orçamento, destina-se a uma verba que se inclui no orçamento e que representa o ganho que a empresa terá por realizar a obra. Este lucro tem por fim cobrir o risco do negócio, dar rendimento ao capital empatado na empresa pelos seus sócios e ainda melhorar as condições de vida da empresa.

Em algumas obras, em que aparecem pontos duvidosos para a sua realização, ainda se acrescenta uma percentagem para cobrir despesas extraordinárias que podem surgir desses pontos duvidosos. Dá-se a essa verba a designação de imprevistos.

Após ter determinado as expressões anteriores, já nos permite saber quanta matéria-prima, tempos de trabalho e mão-de-obra necessária para fazer um orçamento mais aproximado possível à realidade [19].

7.3. Orçamentação do *piston-prover*

7.3.1. Matérias – Primas

| Material | Mercado | Preço (€/kg) | Preço (€/m) | Preço do corte (€) | Preço total (€) |
|--|---|-----------------|----------------|-----------------------------|--------------------|
| Régua c/ porca de esferas | MISUMI KUA1505L-760-150 ⁽¹⁾ | | | | 1546,00 |
| Bancada em perfil 80x80 c/ 1100x760x750, tampo superior em alumínio de 15mm e duas prateleiras revestidas a chapa de inox de 2mm | Fabricado conforme dimensões pretendidas ⁽²⁾ | | | | 1185,00 |
| O'ring Ø5x250mm | Fabricado conforme dimensões pretendidas ⁽³⁾ | | | | 38,79 |
| Interior êmbolo Ø214x6x550mm | Tubo St 52 Ø214,1x25,9x550mm ⁽¹⁾ | 3,49 | | 6,42 | 132,06 |
| Exterior êmbolo Ø250x8x550mm | Tubo St 52 Ø266x8x550mm rectificado para cota final ⁽⁴⁾ | 3,39 | | 6,42 | 178,83 |
| Interior cilindro Ø250x8x550mm | Tubo St 52 Ø252,9x31x550mm ⁽¹⁾ | | 373,58 | 2,44 | 207,91 |
| Exterior cilindro Ø272x6x550mm | Tubo St 52 Ø273x25x550mm ⁽⁴⁾ | 3,27 | | 5,12 | 152,30 |
| Topo êmbolo Ø245x15mm | Bolacha St 52 Ø250x15mm ⁽⁴⁾ | 1,47 | | 6,21 | 14,86 |
| Inferior êmbolo Ø245x12mm | Bolacha St 52 Ø250x12mm ⁽⁴⁾ | 1,47 | | 6,21 | 13,13 |
| Topo cilindro Ø272x15mm | Bolacha St 52 Ø275x15mm ⁽⁴⁾ | 1,47 | | 6,21 | 16,68 |
| Inferior cilindro Ø272x12mm | Bolacha St 52 Ø275x12mm ⁽⁴⁾ | 1,47 | | 6,21 | 14,59 |
| Estrutura traseira 330x1258x20mm | Chapa alumínio 330x1258x20mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 128,76 |
| Estrutura lateral 439x1258x15mm | Chapa alumínio 850x1300x15mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 254,92 |
| Estrutura lateral 439x1258x15mm | | | | | |
| Base 740x702x15mm c/ 3 pés | Chapa alumínio 800x800x15mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 148,04 |
| Esquadro topo êmbolo 137x173,2x12mm | Chapa alumínio 200x200x12mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 7,62 |
| Chapa ligação esquadro/régua 137x150x12mm | Chapa alumínio 140x150x12mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 5,64 |

| | | | | | |
|--|---|------|---------------|--|---------|
| Chapa ligação esquadro/êmbolo 173,2x150x15mm | Chapa alumínio 175x150x15mm ⁽⁵⁾ | 5,64 | | | 6,49 |
| União de ligação dos canais de circulação de água | União fêmea 1/4" BSP em inox 316L ⁽⁶⁾ | | 1,64 €/Un. | | 6,57 |
| Casq. de ligação da união à mangueira de circulação de água | Casquilho sext. macho-macho 1/4" BSP em inox 316L ⁽⁶⁾ | | 0,80 €/Un. | | 3,20 |
| Total | | | | | 4061,39 |

(1) – MISUMI Europa GmbH [23];

(2) – Hidromac [24];

(3) – Liderseal Internacional – Vedantes Rolamentos e Manutenção, S.A. [25];

(4) – DIÂMETRO SUL – Comércio de Aços, Lda. [26];

(5) – Representações Lanema, Lda. [27];

(6) – Pinhol Gomes & Gomes, Lda. [28];

7.3.2. Mão-de-Obra

| Torneamento | Dimensões finais (mm) | l (mm) | T (min.) | Pmo (€/h) | Custo (€) |
|-----------------------------------|-----------------------|--------|----------|-----------|-----------|
| Interior êmbolo Ø214,1x25,9x550mm | Ø214x6x550mm | 550 | 28 | 40 | |
| Exterior êmbolo Ø252,9x31x550mm | Ø250x8x550mm | 550 | 18 | | |
| Exterior cilindro Ø273x25x550mm | Ø272x6x550mm | 550 | 16 | | |
| Topo êmbolo Ø250x15mm | Ø245x15mm | 15 | 1 | | |
| Inferior êmbolo Ø250x12mm | Ø245x12mm | 12 | 1 | | |
| Topo cilindro Ø275x15mm | Ø272x15mm | 15 | 1 | | |
| Inferior cilindro Ø275x12mm | Ø272x12mm | 12 | 1 | | |
| Topo cilindro Ø272x15mm | 1 rebaixo Ø272mm | 3x6 | 1 | | |
| Topo cilindro Ø272x15mm | 1 canal Ø266mm | 3x8 | 1 | | |
| Inferior cilindro Ø272x12mm | 1 rebaixo Ø272mm | 3x6 | 1 | | |
| Inferior cilindro Ø272x12mm | 1 canal Ø266mm | 3x8 | 1 | | |
| Topo êmbolo Ø245x15mm | 1 rebaixo Ø214mm | 3x8 | 1 | | |
| Topo êmbolo Ø245x15mm | 1 canal Ø250mm | 3x6 | 1 | | |
| Inferior êmbolo Ø245x12mm | 1 rebaixo Ø214mm | 3x8 | 1 | | |
| Inferior êmbolo Ø245x12mm | 1 canal Ø250mm | 3x6 | 1 | | |
| Interior cilindro Ø250x8x550mm | 1 caixa p/ O'ring | 5x4,75 | 1 | | |
| Total | | | 75 | | 50,00 |

| Furação | h (mm) | T (min.) | Pmo (€/h) | Custo (€) |
|---|--------|----------|-----------|-----------|
| Ø11,5x15 para canal de circulação de água | 15 | 1 | 20 | |
| Ø11,5x15 para canal de circulação de água | 15 | 1 | | |
| Ø11,5x6 para canal de circulação de água | 6 | 1 | | |

| | | | |
|--|---|---|------|
| Ø11,5x6 para canal de circulação de água | 6 | 1 | |
| Total | | 4 | 1,33 |

| Soldadura | C (cm) | T (min.) | Pmo (€/h) | Custo (€) |
|---|-----------|-------------|-----------|--------------|
| Topo interior cilindro Ø250x8x550 / Topo cilindro Ø272x15 | 78,54 | 5 | 20 | |
| Topo exterior cilindro Ø272x6x550 / Topo cilindro Ø272x15 | 85,45 | 5 | | |
| Inferior interior cilindro Ø250x8x550 / Inferior cilindro Ø272x15 | 78,54 | 4 | | |
| Inferior exterior cilindro Ø272x6x550 / Inferior cilindro Ø272x15 | 85,45 | 5 | | |
| Topo exterior êmbolo Ø250x8x550 / Topo êmbolo Ø245x15 | 78,54 | 4 | | |
| Topo interior êmbolo Ø214x6x550 / Topo êmbolo Ø245x12 | 67,23 | 4 | | |
| Inferior exterior êmbolo Ø250x8x550 / Inferior êmbolo Ø245x15 | 78,54 | 4 | | |
| Inferior interior êmbolo Ø214x6x550 / Inferior êmbolo Ø245x12 | 67,23 | 4 | | |
| União fêmea ¼ ” BSP / Topo êmbolo Ø245x15 | 11,31 | 1 | | |
| União fêmea ¼ ” BSP / Parede do cilindro Ø284x6 | 11,31 | 1 | | |
| Total | | 37 | | 12,33 |

| Corte a jacto de água | Dimensões finais (mm) | Preço (€) |
|----------------------------------|--|-----------|
| Estrutura traseira 330x1258x20mm | 330x1258x20mm c/ 2 rasgos ⁽⁷⁾ | 118,08 |
| Estrutura lateral 439x1258x15mm | 439x1258x15mm c/ 2 rasgos ⁽⁷⁾ | 64,13 |
| Estrutura lateral 439x1258x15mm | 439x1258x15mm c/ 2 rasgos ⁽⁷⁾ | 64,13 |
| Base 800x800x15mm | 740x702,5x15mm c/ 3 pés ⁽⁷⁾ | 30,11 |
| Total | | 276,45 |

(7) – LASINDUSTRIA – tecnologia Laser, S.A. [29];

7.3.3. Revestimentos

| Componente | Tipo de revestimento | Preço (€) |
|------------------------------|----------------------|-----------|
| Exterior êmbolo Ø250x8x550mm | WS2 ⁽⁸⁾ | 312,00 |
| Total | | 312,00 |

(8) – Prírev – Equipamentos e revestimentos Técnicos, Lda [30];

7.3.4. Automação e Instrumentação

| Material | Preço (€) |
|--|-----------|
| Power Supply Unit CJ1W-PA202 ⁽⁹⁾ | 125,00 |
| CPU CJ1M-CPU13 ⁽⁹⁾ | 720,00 |
| Position Control Unit CJ1W-NC133 ⁽⁹⁾ | 750,00 |
| Position Software WS02-NCTC1-E ⁽⁹⁾ | 312,00 |
| Sensor Temperatura RTD (PT 100) PR-10-2-100-1/4-6-E ⁽⁹⁾ | 45,02 |
| Transmissor Pressão E913-023-B22R ⁽⁹⁾ | 300,00 |
| Rotary Servo Drive SGD8-20DE-OY ⁽⁹⁾ | 13130,00 |

| | |
|--|----------|
| Unidades de E/S CJ1W-MAD42 ⁽⁹⁾ | 520,00 |
| Rotary Servo Motor SGMGH-20DCA6H-OY ⁽⁹⁾ | 1570,00 |
| Programação em SCADA ⁽⁹⁾ | 5000,00 |
| Total | 22472,02 |

(9) – TEMANU – Projecto e Manutenção de Equipamentos Industriais Lda. [28];

7.3.5. Orçamento final

| Material | Total Ilíquido (€) | Total c/ Incidência de I.V.A. 20% (€) |
|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| Matérias – Primas | | 4061,39 |
| Mão-de-Obra | 340,11 | 408,13 |
| Revestimentos | | 312,00 |
| Automação e Instrumentação | | 22472,02 |
| Total | | 27253,54 |
| Gastos gerais a taxa 20% | | 5450,70 |
| Preço de custo | | 32704,24 |
| Lucro e risco a taxa 10% | | 3270,42 |
| Preço de venda | | 35974,66 |

Capítulo 8. Conclusões

O presente trabalho contribuiu para um avanço da implementação do primeiro Padrão Nacional Primário, cujo objectivo é calibrar controladores de fluxo até 12 l/min.

O padrão, inédito a nível nacional e em fase de desenvolvimento a nível internacional, encontra-se pouca informação e dados técnicos disponível para recolha de elementos.

O Estágio Curricular, realizado no IPQ, foi de grande importância. Foram disponibilizados toda formação e informação existente respeitante ao trabalho bem como o apoio prestado.

A equação 6.7 corresponde ao princípio de funcionamento do padrão, segundo o comportamento termodinâmico da equação dos gases perfeitos.

Uma vez definidas as diversas variáveis de entrada como: a pressão, temperatura, diâmetro e curso do êmbolo de modo que permitisse a calibração na gama pretendida, foi concluído que as melhores condições são:

A pressão máxima de serviço é 10 bar, dando a possibilidade de funcionamento do padrão para pressões inferiores.

O tempo mínimo de subida do êmbolo é 1,458 segundos com tipo de lubrificação (WS2).

A circulação de água tem por objectivo a homogeneização da temperatura no interior da câmara.

O valor estimado para a incerteza do Padrão foi de 0,076 %.

O seu dimensionamento também foi efectuado com consulta do mercado. Desta forma permite saber o preço de fabrico do padrão, que foi estimado em 35974,66 euros.

Embora o trabalho desenvolvido tenha pretendido ser o mais elaborado possível, existem alguns pontos, no que implica a futura construção de um protótipo do sistema mecânico para medição de pequenos caudais de gás, tais como:

- Programação em CX-Programmer (software de programação para PLC's da Omron) permitindo programar, testar e concluir as operações do funcionamento do padrão.
- Computação e comunicação para automatizar a monitorização e o controlo do processo de calibração, com recurso ao sistema SCADA (interface gráfica).
- Instalação da instrumentação e desenvolvimento de programas para aquisição de dados.
- Realização de ensaios para verificação do funcionamento do Padrão e verificação dos parâmetros de projecto.

Referências Bibliográficas

- [1] Batista, Elsa, *“Estruturas da Qualidade em Portugal”*, IPQ, 2007
- [2] Batista, Elsa, *“Metrologia”*, IPQ, 2007
- [3] Batista, Elsa, *“Calibração, utilização e calibração de equipamento volumétrico”*, IPQ, 2007
- [4] Batista, Elsa, *“Calibração, utilização e manutenção de equipamento volumétrico”*, IPQ, 2007
- [5] Wright, John D., *“What is the “best” transfer standard for gas flow?”*, National Institute of Standards and Technology
- [6] Wright, John D., Mattingly, George E., *“NIST Calibration Services for Gas Flow Meters - Piston Prover and Bell Prover Gas Flow Facilities”*, U. S. Department of Commerce Technology Administration - National Institute of Standards and Technology
- [7] Deus, Jorge Dias de, Pimenta, Mário, Noronha, Ana, Peña, Teresa, Brogueira, Pedro, *“Introdução à Física”*, McGraw-Hill
- [8] Moran, Michael J., Shapiro, Howard N., *“Fundamentals of Engineering Thermodynamics”*, Wiley, 5th Edition
- [9] White, Frank M., *“Mecânica dos Fluidos”*, McGraw-Hill, 4^a Edição
- [10] *“Guia para a expressão da incerteza de medição nos Laboratórios de Calibração”*, Instituto Português da Qualidade, 1998
- [11] Walker, James, *“High Performance Sealing Technology - ‘O’ Rings”*, Sociedade de Rolamentos SDR, S.A.

- [12] Ribeiro, A. Tomé, Godinho, Luís, *“Usage of Modified Tungsten Disulfide (WS₂) as a dry lubricant coating on the camshaft of JTD direct injection turbo diesel engines”*, Faculdade de Engenharia - Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade do Porto
- [13] Martins, Jorge, *“Motores de Combustão Interna”*, Publindústria, 2005
- [14] Beer, Ferdinand P., Johnston, E. Russel, *“Dinâmica”*, McGraw-Hill, Sexta Edição
- [15] Catálogo *“Precision Ball Screw Assemblies End Bearings and Nut Housings”*, Bosh Rexroth AG
- [16] Araújo, Serge de Barbosa, *“Máquinas Hidráulicas”*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, 1997
- [17] Araújo, Serge de Barbosa, *“Apontamentos Dinâmica dos Fluidos”*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharia Mecânica e Industrial, 1999
- [18] Ramos, Hermínio, *“Automação e Sistemas de Automação”*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia - Departamento de Engenharia Electrotécnica
- [19] Rocha, Acácio Teixeira da, *“Orçamentos e Contas de Obras”*, Coimbra Editora, Limitada
- [20] Catálogo da SANDVIK Coromat, *“Ferramentas para torneamento”*
- [21] Catálogo da SANDVIK Coromat, *“Ferramentas rotativas”*
- [22] Ar Líquido, *“Guia do utilizador de soldadura manual”*, 1ª Edição
- [23] <http://www.misumi-europe.com> (online em Dezembro de 2008)
- [24] <http://www.hidromac.pt> (online em Dezembro de 2008)
- [25] <http://www.liderseal.com> (online em Dezembro de 2008)

[26] <http://www.diametrosul.com> (online em Dezembro de 2008)

[27] <http://www.lanema.pt> (online em Dezembro de 2008)

[28] Contactos efectuados via e-mail e telefonicamente

[29] <http://www.lasindustria.com> (online em Dezembro de 2008)

[30] <http://www.prirev.com> (online em Dezembro de 2008)


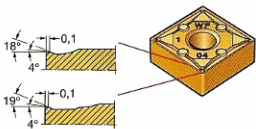
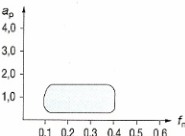
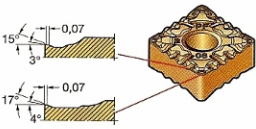
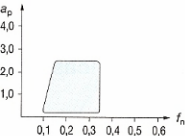
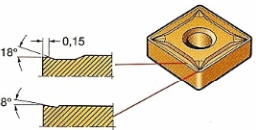
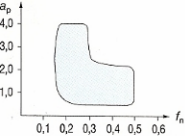
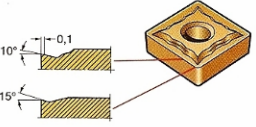
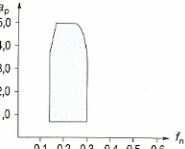
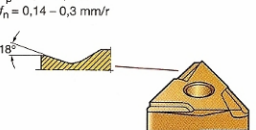
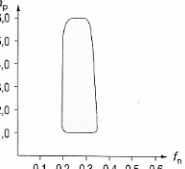
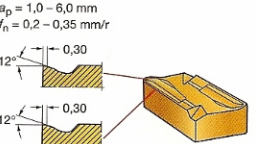
Anexos

Desenhos do Projecto de Sistema Mecânico de Caudais Inferiores a 12 L/min de Gás

Valores práticos para os parâmetros de corte no torneamento

TORNEAMENTO GERAL Como escolher a ferramenta correta

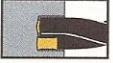
Pastilhas negativas – T-MAX P

| A | ISO | Geometria | | Classe | Dados de corte recomendados para o material CMC 02.1 | | | |
|------|-----------------|---|--|--|--|-------|-------|-----|
| | | Área de trabalho | Descrição da geometria | | a_p | f_n | v_c | |
| Aços | P Acabamento | WF  | CNMG 12 04 08-WF $a_p = 0,3 - 4,0$ mm $f_n = 0,1 - 0,5$ mm/r  | Acabamento superficial excelente, combinado com bom controle de cavacos. | CT5015 GC1525 GC4015 GC4025 | 1,0 | 0,3 | 395 |
| | | PF P-Line  | CNMG 12 04 08-PF $a_p = 0,3 - 1,5$ mm $f_n = 0,1 - 0,4$ mm/r  | Fluxo de cavacos preciso no torneamento axial e radial e em operações de copiagem e faceamento por trás. | CT5015 GC1525 GC4015 GC4025 | 0,4 | 0,2 | 455 |
| | | QF  | CNMG 12 04 08-QF $a_p = 0,2 - 2,5$ mm $f_n = 0,1 - 0,35$ mm/r  | Bom controle de cavacos em baixos avanços e profundidades de corte pequenas. | CT5015 GC4015 GC4025 GC4035 | 0,5 | 0,15 | 490 |
| | | MF  | CNMG 12 04 08-MF $a_p = 0,5 - 4,0$ mm $f_n = 0,15 - 0,5$ mm/r  | Bom controle de cavacos e segurança da aresta. Geometria específica (-MF) | CT5015 GC4015 GC4025 GC4035 | 1,0 | 0,25 | 425 |
| | | R/L-K  | TNMG 16 04 04 R-K $a_p = 0,7 - 5,0$ mm $f_n = 0,14 - 0,3$ mm/r  | Ação de corte suave e baixas forças de corte. | GC1525 GC4015 GC4025 | 1,0 | 0,22 | 440 |
| | | KNMX  | KNMX 16 04 05R-71 $a_p = 1,0 - 6,0$ mm $f_n = 0,2 - 0,35$ mm/r  | Uma ampla área de quebra de cavacos com boa performance em cortes sensíveis. | GC4015 GC4025 S1P | 1,5 | 0,2 | 425 |

A 294

SANDVIK
Coromant

Valores práticos para os parâmetros de corte na furação

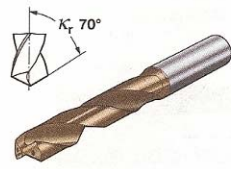


FURAÇÃO

Brocas de metal duro CoroDrill™ Delta-C de alta precisão

2 – 3 × D_c

Haste cilíndrica



$\kappa_r 70^\circ$

Diâmetro da broca: 3,00—20,00 mm

Máxima profundidade do furo: 2—3 × D_c

Cobertura: TiN/ TiAlN multicamada

Tolerância do furo: IT8-9

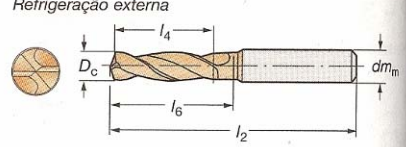
Acabamento superficial: R_a 1-2 µm

Fluido de corte: Emulsão ou óleo de corte

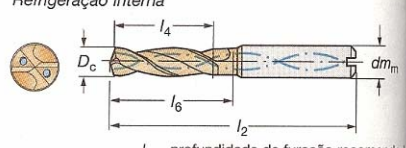
Broca standard: DIN 6537

Tolerâncias: dm_m = h6
D_c = m7;
D_c 6≤10 +0,021/+0,006
D_c 10≤18 +0,025/+0,007

Refrigeração externa

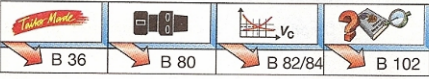


Refrigeração interna




l₄ = profundidade de furação recomendada

| Diâmetro da broca D _c mm | Fração/Tamanho da rosca | Código para pedido | Classes Coromant | Código para pedido | Classes Coromant | Dimensões, mm | | | |
|--|-------------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | | | | dm _m | l ₂ | l ₄ | l ₆ |
| 7,14 | 9/32 | R840- 0720-30-A0A | ☆ | R840- 0714-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,20 | | 0730-30-A0A | ☆ | 0720-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,30 | | 0740-30-A0A | ☆ | 0730-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,40 | | 0750-30-A0A | ☆ | 0740-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,50 | | | ☆ | 0750-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,54 | 19/64 | R840- 0760-30-A0A | ☆ | R840- 0754-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,60 | | 0770-30-A0A | ☆ | 0760-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,70 | | 0780-30-A0A | ☆ | 0770-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,80 | | 0790-30-A0A | ☆ | 0780-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,90 | | | ☆ | 0790-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 7,94 | 5/16 | R840- 0800-30-A0A | ☆ | R840- 0794-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 8,00 | | 0810-30-A0A | ☆ | 0800-30-A1A | ☆ | 8,0 | 79 | 28 | 41 |
| 8,10 | | 0820-30-A0A | ☆ | 0810-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,20 | | 0830-30-A0A | ☆ | 0820-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,30 | | | ☆ | 0830-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,33 | 21/64 | R840- 0840-30-A0A | ☆ | R840- 0833-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,40 | | 0850-30-A0A | ☆ | 0840-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,50 | | 0860-30-A0A | ☆ | 0850-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,60 | | 0870-30-A0A | ☆ | 0860-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,70 | | | ☆ | 0870-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,73 | 11/32 | R840- 0880-30-A0A | ☆ | R840- 0873-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,80 | | 0890-30-A0A | ☆ | 0880-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 8,90 | | 0900-30-A0A | ☆ | 0890-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 30 | 47 |
| 9,00 | | 0910-30-A0A | ☆ | 0900-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,10 | | | ☆ | 0910-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,13 | 23/64 | R840- 0920-30-A0A | ☆ | R840- 0913-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,20 | | 0930-30-A0A | ☆ | 0920-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,30 | | 0940-30-A0A | ☆ | 0930-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,40 | | 0950-30-A0A | ☆ | 0940-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,50 | | | ☆ | 0950-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,52 | 3/8 | R840- 0960-30-A0A | ☆ | R840- 0952-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,60 | | 0970-30-A0A | ☆ | 0960-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,70 | | 0980-30-A0A | ☆ | 0970-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,80 | | 0990-30-A0A | ☆ | 0980-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,90 | | | ☆ | 0990-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 9,92 | 25/64 | R840- 1000-30-A0A | ☆ | R840- 0992-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 10,00 | | 1010-30-A0A | ☆ | 1000-30-A1A | ☆ | 10,0 | 89 | 31 | 47 |
| 10,10 | | 1020-30-A0A | ☆ | 1010-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,20 | | 1030-30-A0A | ☆ | 1020-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,30 | | | ☆ | 1030-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,32 | 13/32 | R840- 1040-30-A0A | ☆ | R840- 1032-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,40 | | 1050-30-A0A | ☆ | 1040-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,50 | | 1060-30-A0A | ☆ | 1050-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,60 | | 1070-30-A0A | ☆ | 1060-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,70 | | | ☆ | 1070-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,71 | 27/64 | R840- 1080-30-A0A | ☆ | R840- 1071-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,80 | | 1090-30-A0A | ☆ | 1080-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 10,90 | | 1100-30-A0A | ☆ | 1090-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 34 | 55 |
| 11,00 | | 1110-30-A0A | ☆ | 1100-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,10 | | | ☆ | 1110-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,11 | 7/16 | R840- 1120-30-A0A | ☆ | R840- 1111-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,20 | | 1130-30-A0A | ☆ | 1120-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,30 | | 1140-30-A0A | ☆ | 1130-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,40 | | 1150-30-A0A | ☆ | 1140-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |
| 11,50 | | | ☆ | 1150-30-A1A | ☆ | 12,0 | 102 | 35 | 55 |



Exemplo para pedido: 10 peças R840-0720-30-A0A 1220





FURAÇÃO

Dados de corte e gráficos

CoroDrill™ Delta-C — R840/850

| | Material | | | Novas classes Coromant | Velocidade de corte v_c m/min | Diâmetro da broca, mm | | | |
|--------------------------------------|--|------------------------------------|---|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | CMC | HB | | | | 3,00—6,00 | 6,01—10,00 | 10,01—14,00 | 14,01-20,00 |
| | | | | | | Avanço f_n mm/r ³⁾ | | | |
| P | Aços sem liga | | | | | | | | |
| | 01.0 | 125 | C = 0,05-0,10% | 1220 | 80-140 | 0,10-0,25 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 |
| | 01.1 | 125 | C = 0,10-0,25% | 1220 | 80-140 | 0,10-0,25 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 |
| | 01.2 | 150 | C = 0,25-0,55% | 1220 | 80-140 | 0,10-0,25 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 |
| | 01.3 | 170 | C = 0,55-0,80% | 1220 | 70-130 | 0,10-0,25 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 |
| | Aços alto-carbono | | | | | | | | |
| | 01.4 | 210 | Aços-ferramenta (Carbono) | 1220 | 70-120 | 0,10-0,25 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 |
| | Aços baixa-liga | | | | | | | | |
| | 02.1 | 180 | Não endurecidos | 1220 | 70-120 | 0,10-0,20 | 0,14-0,30 | 0,18-0,35 | 0,20-0,40 |
| | 02.2 | 275 | Endurecidos e temperados | 1220 | 70-100 | 0,10-0,20 | 0,14-0,30 | 0,18-0,35 | 0,20-0,40 |
| 02.2 | 350 | Endurecidos e temperados | 1220 | 50-80 | 0,10-0,20 | 0,14-0,25 | 0,18-0,35 | 0,20-0,38 | |
| Aços alta-liga | | | | | | | | | |
| 03.11 | 200 | Recozidos | 1220 | 40-80 | 0,08-0,14 | 0,10-0,22 | 0,14-0,25 | 0,16-0,32 | |
| 03.21 | 325 | Aços-ferramenta endurecidos | 1220 | 40-70 | 0,08-0,14 | 0,10-0,22 | 0,12-0,25 | 0,18-0,28 | |
| Aços fundidos | | | | | | | | | |
| 06.1 | 180 | Sem liga | 1220 | 70-130 | 0,10-0,20 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 | |
| 06.2 | 200 | Baixa-liga (elementos de liga <5%) | 1220 | 70-120 | 0,10-0,20 | 0,15-0,34 | 0,20-0,40 | 0,22-0,45 | |
| M | Aços inoxidáveis | | | | | | | | |
| | 05.11 | 200 | Não endurecidos | 1220 | 40-80 ¹⁾ | 0,08-0,14 | 0,08-0,20 | 0,12-0,22 | 0,14-0,24 |
| | 05.21 | 180 | Austeníticos | 1220 | 40-80 ¹⁾ | 0,08-0,14 | 0,08-0,20 | 0,12-0,22 | 0,14-0,24 |
| | Aços inoxidáveis | | | | | | | | |
| | 15.21 | 200 | Austeníticos fundidos | 1220 | 40-80 ¹⁾ | 0,08-0,14 | 0,08-0,20 | 0,12-0,22 | 0,14-0,24 |
| S | Super ligas resistentes ao calor —à base de níquel | | | | | | | | |
| | 20.21 | 250 | Recozidas ou tratadas em solução | 1220 | 10-25 | 0,06-0,12 | 0,08-0,15 | 0,08-0,15 | 0,10-0,16 |
| | 20.22 | 350 | Envelhecidas ou tratadas em solução e envelhecidas | 1220 | 10-25 | 0,06-0,12 | 0,08-0,15 | 0,08-0,15 | 0,10-0,16 |
| | 20.24 | 320 | Fundidas ou fundidas e envelhecidas | 1220 | 10-25 | 0,06-0,12 | 0,08-0,15 | 0,08-0,15 | 0,10-0,16 |
| | Ligas de titânio | | | | | | | | |
| | 23.21 | Rm ²⁾ = 850 | α, ligas próximo α e α + β, recozidas | 1220 | 20-60 | 0,06-0,12 | 0,08-0,20 | 0,14-0,28 | 0,16-0,30 |
| | 23.22 | Rm ²⁾ = 1050 | α + β ligas envelhecidas, β ligas recozidas e envelhecidas | 1220 | 20-60 | 0,06-0,12 | 0,08-0,20 | 0,14-0,28 | 0,16-0,30 |
| | Ferros fundidos maleáveis | | | | | | | | |
| 07.1 | 130 | Ferríticos (cavacos curtos) | 1220 | 90-150 | 0,15-0,30 | 0,25-0,40 | 0,35-0,60 | 0,40-0,60 | |
| 07.2 | 230 | Perlíticos (cavacos longos) | 1220 | 70-130 | 0,15-0,25 | 0,20-0,35 | 0,30-0,55 | 0,35-0,55 | |
| Ferros fundidos cinzentos | | | | | | | | | |
| 08.1 | 180 | Baixa resistência à tensão | 1220 | 90-150 | 0,15-0,30 | 0,25-0,40 | 0,35-0,60 | 0,40-0,60 | |
| 08.2 | 260 | Alta resistência à tensão | 1220 | 70-130 | 0,15-0,25 | 0,20-0,35 | 0,30-0,55 | 0,35-0,55 | |
| Ferros fundidos nodulares, ferros SG | | | | | | | | | |
| 09.1 | 160 | Ferríticos | 1220 | 80-110 | 0,15-0,30 | 0,25-0,40 | 0,35-0,60 | 0,40-0,60 | |
| 09.2 | 250 | Perlíticos | 1220 | 70-100 | 0,15-0,25 | 0,20-0,35 | 0,30-0,55 | 0,35-0,55 | |
| H | Aços extra-duros | | | | | | | | |
| | 04.1 | 43-47 HRC | Endurecidos e temperados | 1220 | 30-50 | 0,06-0,10 | 0,08-0,12 | 0,10-0,15 | 0,12-0,18 |
| | 04.1 | 47-60 HRC | Endurecidos e temperados | 1220 | 15-25 | 0,06-0,10 | 0,08-0,12 | 0,10-0,15 | 0,12-0,18 |
| N | Ligas de alumínio | | | | | | | | |
| | 30.11 | 60 | Forjadas ou forjadas e trabalhadas a frio, não envelhecidas | 1220/N20D | 120-230 | 0,15-0,25* | 0,20-0,40* | 0,30-0,50* | 0,40-0,60 |
| | 30.21 | 75 | Fundidas, não-envelhecidas | 1220/N20D | 120-230 | 0,15-0,25* | 0,20-0,40* | 0,30-0,50* | 0,40-0,60 |
| | Cobre e ligas de cobre | | | | | | | | |
| | 33.1 | 110 | Ligas de corte livre ≥1% Pb | 1220/N20D | 90-150 | 0,15-0,25* | 0,20-0,40* | 0,30-0,50* | 0,40-0,60 |
| | 33.2 | 90 | Latão, bronze com chumbo ≤1% Pb | 1220/N20D | 90-150 | 0,15-0,25* | 0,20-0,40* | 0,30-0,50* | 0,40-0,60 |

¹⁾ Recomenda-se refrigeração interna na furação de aços inoxidáveis.

Frisamos que a refrigeração é essencial para o escoamento dos cavacos e a vida útil da ferramenta.

²⁾ Rm = Limite de resistência à tração medida em MPa.

³⁾ Avanços mais elevados devem ser usados em condições de usinagem estáveis e favoráveis.

***Nota:** A nova broca CoroDrill™ Delta-C R 850 permite que você empregue uma faixa de avanço máximo (0,1 mm mais elevada) na usinagem de materiais não-ferrosos.

Tabela de Volume de metal depositado por metro de soldadura, topo-a-topo, com chanfro e reprise na raiz

| Espessura (mm.) (e) | Afastamento (mm.) (E) | Talão (mm.) (h) | Volume (cm ³) | Pesos (kg) | Diâmetros recomendados |
|---------------------|-----------------------|-----------------|---------------------------|------------|---------------------------|
| 5 | 1 | 1 | 30 | 0,23 | 3,15 e 4, reprise em 3,15 |
| 6 | 1,5 | 1,5 | 44 | 0,34 | 3,15 e 4, reprise em 3,15 |
| 8 | 1,5 | 1,5 | 70 | 0,54 | 3,15 e 4, reprise em 4 |
| 10 | 2 | 2 | 92 | 0,72 | 3,15-4 e 5, reprise em 4 |
| 12 | 2 | 2 | 125 | 0,97 | 3,15-4 e 5, reprise em 4 |
| 14 | 2 | 2 | 160 | 1,25 | 4-5-6,3, reprise em 5 |
| 16 | 2 | 2 | 200 | 1,55 | 4-5-6,3, reprise em 5 |

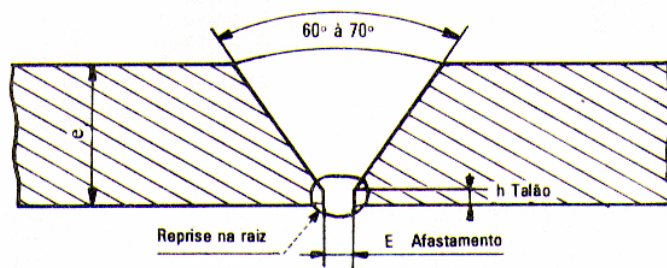
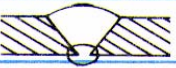









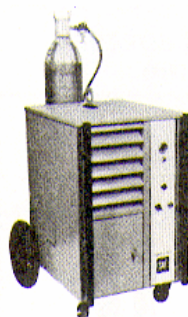
Tabela prática, para soldadura topo-a-topo com chanfro e eléctrodos clássicos

| Espess. da chapa (mm.) | Distribuição dos passes | Angulo do chanfro | Número de passes | Diâmetro dos electrodos (mm.) | Intensidade (A) | Número de elect. por m. | Veloc. em (m/h.) |
|------------------------------|---|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 6 |  | 80° | 2 | 3,15 4 | 100 A 160 A | 3,3 5 | 4,8 |
| 8 |  | 70° | 3 | 3,15 4 4 | 100 A 170 A 160 A | 3,3 4 6 | 3 |
| 10 |  | 70° | 3 | 3,15 4 4 | 100 A 170 A 160 A | 3,3 6 8 | 2,4 |
| 12 |  | 60° | 5 | 3,15 4-4-4-4 | 105 A 170 A | 3,3 18 | 1,8 |
| 12 |  | 60° | 4 | 3,15 4 5-5 | 105 A 170 A 200 A | 3,3 5 10 | 2,2 |
| 14 |  | 60° | 5 | 3,15 4 5-5-5 | 105 A 170 A 200 A | 3,3 5 13 | 1,6 |
| 16 |  | 60° | 6 | 3,15 4 5-5 6,3-6,3 | 110 A 170 A 220 A 260 A | 4 5 10 7 | 1,2 |
| 20 |  | 60° | 8 | 4 4 5-5 6,3-6,3-6,3-6,3 | 150 A 170 A 220 A 260 A | 3 5 9 16 | 0,95 |

Pesos de metal depositado, para diferentes tipos de eléctrodos em função do seu rendimento e dos seus diâmetros nominais

| Diâmetro mm. e comprim. mm.. | 2 | 2,5 | 3,15 | 3,15 | 4 | 4 | 5 | 6,3 |
|-------------------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| Comprim. do eléct. utilizado mm. | 350 | 350 | 350 | 450 | 350 | 450 | 450 | 450 |
| Rendimento (R %)¹ | | | | | | | | |
| 95% (Élect. clássico) | 7 | 11 | 18 | 24 | 28 | 37 | 55 | 93 |
| 110 % | 8 | 12,5 | 20,5 | 27,5 | 32,5 | 45 | 67,5 | 107 |
| 120 % | 9 | 14 | 22,5 | 30 | 35,5 | 47 | 73,5 | 116,5 |
| 140 % | 10 | 15,5 | 25,5 | 34 | 39,5 | 55 | 84 | 133 |
| 160 % | 12 | 19 | 30 | 40 | 47 | 62,5 | 86 | 155,5 |
| 180 % | 13 | 20,5 | 34 | 45 | 53 | 70,5 | 110 | 175 |

Valores práticos para os parâmetros de soldadura a semi-automática

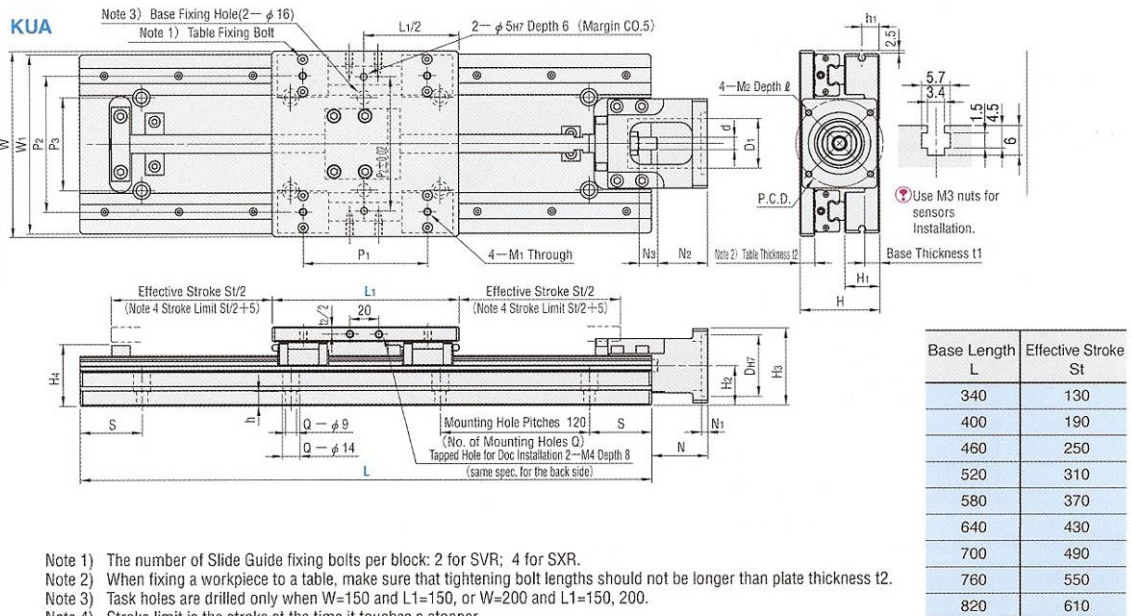
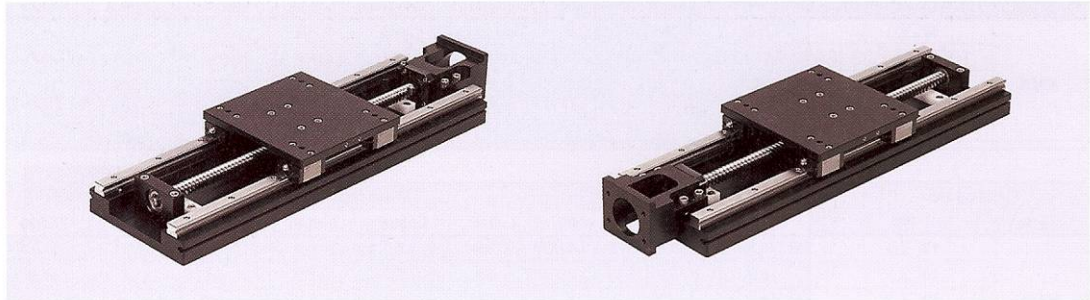


| material | tocha manual | | | tocha máquina | | | gases |
|----------------|---|-------------------|-----------------------------|---|-------------------|-----------------------------|----------------|
| | maxi. corte de qualidade factor de marcha 100% | | maxi. possibili- dade | maxi. corte de qualidade factor de marcha 100% | | maxi. possibili- dade | |
| | espass. mm | velocid. cm/mn | espass. mm | espass. mm | velocid. cm/mn | espass. mm | |
| ligas leves | 20 10 | 40 75 | 25 12 | 30 12 | 10 65 | 40 15 | Noxal Azoto |
| aços inox | 20 10 | 12 35 | 25 12 | 30 12 | 8 30 | 35 15 | Noxal Azoto |
| aços macios | 20 10 | 20 25 | 25 12 | 30 12 | 8 20 | 25 15 | Noxal Azoto |

Régua MISUMI KUA1505L-760-150

MISUMI

Linear Unit - Stage type



■ Standard table

| Catalog No. | | Selection | | W Table Width | H Height | H1 Guide Height | H2 Shaft Center Height | Ball Screw | | | Slide Guides | Bearing | | Applicable Coupling | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|---|--------------------|---------------------|-------------|-----------------------|---------------------------------|---|------------------|---------------|--------------|------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------|--------|---------|-------------------|---------|--------|-------------------|------------|-----|----|----|----|----|----------|--------|---------|-------------------|
| Type | No. | L Base Length | L1 Table Length | | | | | Catalog No. | | Catalog No. | | Fixed Side (Support Unit) | Support Side (Bearings) | | Catalog No. | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | Type | Diameter Lead | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| KUA | 1204 | 340 | 100 150 | 150 | 55 | 21 | 28 | BSSZ (Precision grade C10) | 12 | 4 10 | SV2R24 | BRWE10 | B608ZZ | CPDW25 MCSLC25 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1210 | 400 | | | 64 | 28 | 32 | | | 5 10 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1505 | 460 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1510 | 520 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1520 | 580 | 200 | 200 | | | | | 64 | | 28 | 32 | 15 | 10 20 | SX2R24 | BRWE12 | B6000ZZ | CPDW40 MCSLC40 | | | | | | | | | | | | | |
| | 1204L | 640 | | | 55 | 21 | 28 | | | 4 10 | | | | | | | | | BRWE10 | B608ZZ | CPDW25 MCSLC25 | | | | | | | | | | |
| | 1210L | 700 | | | 64 | 28 | 32 | | | 5 10 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1505L | 760 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 150 200 | 200 | 64 | 28 | 32 | 15 | 10 20 | BRWE12 | B6000ZZ | CPDW40 MCSLC40 |
| | 1510L | 820 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1520L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2005L | | | | 68 | 28 | 34 | | | 20 | | | | | | | | | 5 20 | SX2R28 | BRWE15 | | | | | | | | | | |
| | 2010L | | | | 79 | 39 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2020L | | | | 68 | 28 | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Refer to the price list for selectable sizes. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

For ball screws, refer to P.393~396 For slide guides, refer to P.321~324 For support units, refer to P.404 For couplings, refer to P.559, 560 (Coupling is not attached)

Caution. When CPDW40 is used with 400W motor, instantaneous max torque of the motor may be larger than allowable torque of the coupling.

| Catalog No. | | Tables | | | | | | Bases | | | | Base Mounting Hole | | | | Motor Mounting | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|--------|-------|-------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|----|----|----------------------------|--|---|---|----------------|----|----|-----|------|----|----|----|----|----|---------------------|------|----|----|
| Type | No. | W | t2 | M1 | P1 | P2 | W1 | H4 | t1 | h1 | P3 | h | Q | | S | P.C.D | D | D1 | H3 | N | N1 | N2 | N3 | d | M2 | R | | | |
| KUA | 1204 | 150 | 10 | | L1 P1 100 50 150 100 | 110 | 145 | 42 | 10 | 13 | 75 | 9.5 | L Q W=150 W=200 340 6 6 400 6 8 460 8 8 520 8 10 580 10 10 640 10 12 700 12 12 760 12 14 820 14 14 | L S W=150 W=200 340 50 50 400 80 20 460 50 50 520 80 20 580 50 50 640 80 20 700 50 50 760 80 20 820 50 50 | | 46 | 30 | 34 | 49 | 37 | 5 | 32 | 15 | 8 | M4 | 8 | | | |
| | 1210 | | 12 | | | | | 70 | 50 | 45 | | 62 | | | | 45 | 40 | 10 | M5 | 10 | | | | | | | | | |
| | 1505 | | | | | | | | 10 | M6 | | L1 P1 150 80 200 130 | | | | 160 | 49 | 20 | 120 | 11.5 | | 70 | | 50 | 45 | 64 70 57.5 64 | 39.5 | 18 | 12 |
| | 1510 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1520 | 1204L | 1210L | 1505L | 1510L | 1520L | 2005L | 2010L | 2020L | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Order Catalog No. — L — L1
KUA1204 — 340 — 150

Days to Ship 13 days

Price euros

| Catalog No. | | Unit Price Qty. 1~2 | | | | | | | | |
|-------------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Type | No. | L=340 | L=400 | L=460 | L=520 | L=580 | L=640 | L=700 | L=760 | L=820 |
| KUA | 1204 | 984 | 1012 | 1075 | 1127 | 1178 | 1230 | — | — | — |
| | 1210 | 1006 | 1034 | 1097 | 1149 | 1200 | 1252 | 1335 | 1378 | — |
| | 1505 | 1068 | 1089 | 1133 | 1186 | 1239 | 1316 | 1369 | 1414 | 1458 |
| | 1510 | 1074 | 1095 | 1137 | 1190 | 1242 | 1317 | 1370 | 1415 | 1459 |
| | 1520 | 1123 | 1144 | 1190 | 1243 | 1296 | 1371 | 1423 | 1468 | 1513 |
| | 1204L | 1066 | 1100 | 1170 | 1219 | 1269 | 1323 | — | — | — |
| | 1210L | 1253 | 1304 | 1389 | 1467 | 1545 | 1627 | 1740 | 1806 | — |
| | 1505L | 1139 | 1171 | 1226 | 1281 | 1337 | 1417 | 1473 | 1521 | 1569 |
| | 1510L | 1144 | 1176 | 1229 | 1285 | 1341 | 1418 | 1474 | 1522 | 1569 |
| | 1520L | — | — | 1318 | 1378 | 1439 | 1521 | 1581 | 1633 | 1686 |
| | 2005L | 1219 | 1268 | 1312 | 1368 | 1424 | 1509 | 1565 | 1612 | 1674 |
| | 2010L | — | 1338 | 1389 | 1452 | 1517 | 1605 | 1669 | 1723 | 1796 |
| | 2020L | — | — | 1485 | 1558 | 1631 | 1718 | 1791 | 1855 | 1935 |

For orders larger than indicated values, please request for quotation.

Power Supply Unit CJ1W-PA202

Introduction



1 Introduction

This Quick Start Guide intends the user to get familiar quickly with the Trajexia system. This Quick Start Guide explains how to get a single axis moving in a simple desktop set-up by the Trajexia system and a Sigma-II Servo Driver by MECHATROLINK-II.

This Quick Start Guide is intended for personnel with knowledge of electrical systems (electrical engineers or equivalent). The engineer has to make sure to operate safely with respect to the power (power supply for Trajexia and power for the Servo Driver, which may be 380 VAC) and moving parts of the motor. When the Trajexia system is used in a real application, the safety warnings and cautions listed in the Hardware Reference Manual must be followed.

For detailed information of the Trajexia system, please refer to the manuals listed in section 5.3.

1.1 About this guide

This Quick Start Guide describes how to connect a Trajexia system to a Sigma-II Servo Driver by MECHATROLINK-II communication. Also the installation of the Trajexia Tools operating software is described, and an example program that controls one servo motor is given.

This Quick Start Guide contains both procedures and descriptive information. Procedure steps that the reader must execute are numbered. All other information is plain text or bulleted text.

Revision 3.0

QUICK START GUIDE

4

Introduction



1.2 Overview of this guide

Chapter 2 describes how to unpack the boxes and install the Trajexia units on a rail.

Chapter 3 describes how to connect a servo motor to the Trajexia system.

Chapter 4 describes how to connect the Trajexia system to a PC and write an example program to operate the servo motor.

fig. 1

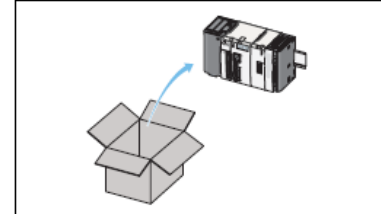


fig. 2

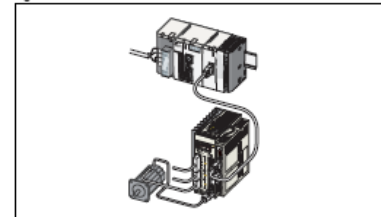
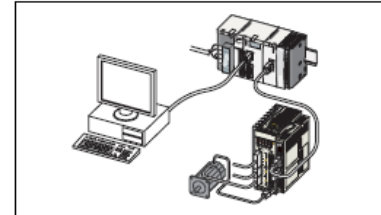


fig. 3



Revision 3.0

QUICK START GUIDE

5

1.3 What you need

You need these items for the installation described in this Quick Start Guide.

1.3.1 Trajexia units

- A Power Supply Unit. This can be one of these:
 - CJ1W-PA202
 - CJ1W-PA205R
 - CJ1W-PD025
- A TJ1-MC__ (Motion Controller Unit). This can be one of these:
 - TJ1-MC04
 - TJ1-MC16
- A TJ1-ML__ (MECHATROLINK-II Master Unit). This can be one of these:
 - TJ1-ML04
 - TJ1-ML16
- A TJ1-TER (Terminator Unit). Supplied together with the TJ1-MC__ unit.

1.3.2 Other units

- A MECHATROLINK-II Interface Unit (NS115).
- A MECHATROLINK-II cable.
- A MECHATROLINK-II terminator.
- A 200 V single-phase Servo Driver or a 400 V three-phase Servo Driver.
- A servo motor.
- A PC.
- The Trajexia Tools software CD-ROM.
- Power and encoder cables from Servo Driver to motor.

Revision 3.0

3 Connections

This chapter describes the connections of the Trajexia units.

3.1 Before work

In this desktop environment the emergency stops, interlock circuits and limit switches are not installed.



Caution

The electrical engineer has to make sure to operate safely with respect to the power (power supply for Trajexia and power for the Servo Driver, which may be 380 VAC) and moving parts of the motor.

3.2 Power Supply Units

You can use three different types of Power Supply Unit:

| Power Supply Unit | Current | Input voltage | Operating voltage limits | Operating frequency limits | Output power |
|-------------------|---------|---------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| CJ1W-PA202 | AC | 110 - 240 V | 85 - 264 V | 47 - 63 Hz | 14 W |
| CJ1W-PA205R | AC | 110 - 240 V | 85 - 264 V | 47 - 63 Hz | 25 W |
| CJ1W-PD025 | DC | 24 V | 21.6 - 26.4 V | N/A | 25 W |

Revision 3.0

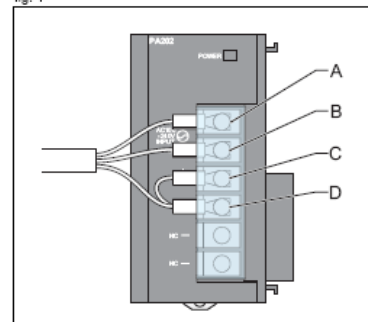
3.2.1 Recommended Power Supply Unit

The recommended Power Supply Unit is the CJ1W-PA202.

1. Connect the CJ1W-PA202 Power Supply Unit as follows:

| Terminal | Description | Connection |
|----------|--------------------------|--|
| A | 110 - 240 V power supply | Live VAC |
| B | 110 - 240 V power supply | Live VAC |
| C | Line earth | Short-circuit to terminal D |
| D | Earth | • Short-circuit to terminal C • Earth |

fig. 1



4 Trajexia Tools

4.1 Minimum PC configuration

You need a PC with this minimum configuration to install Trajexia Tools:

- Windows 98 SE.
- 300 MHz Pentium CPU.
- 64 MB RAM.
- 140 MB hard disk space.
- An Ethernet port.
- If your operating system is Windows 98 SE or Windows ME: Internet Explorer 5.0.
- If your operating system is Windows 2000 or Windows XP: Internet Explorer 6.0.

4.2 Install the Trajexia Tools software

1. Insert the Trajexia Tools CD into the CD-ROM drive of the PC.
2. The Trajexia Tools Setup program starts automatically.
3. If the Trajexia Tools Setup program does not start automatically, start it manually: execute `setup.exe` in the root directory of the CD.
4. Select the language you want to use from the drop-down list. Click OK.

fig. 1



CPU CJ1M-CPU13

CJ1M-CPU11/-CPU21

Novas CPUs de gama baixa

Compacto e potente - As CPU inovadoras de gama baixa da Omron têm toda a potência de um sistema PLC modular, mas sem o custo associado. Perfeito para pequenas aplicações, onde é essencial a velocidade e flexibilidade.



Advanced Industrial Automation

Conceito de família coerente

De acordo com os requisitos dos nossos clientes, certificamo-nos de que o CJ1M-CPU11/21 utiliza o mesmo software de programação – CX-Programmer – que todos os PLC da Omron utilizam. Também nos certificamos de que as mesmas e potentes funções de depuração foram incluídas, por forma a minimizar o tempo despendido na programação. Com este software baseado em tarefas, pode simplificar a programação através da divisão dos projectos em módulos com tarefas cíclicas e de interrupção.

O CJ1M-CPU11/21 suporta a memória Compact

Flash standard como opção, para assegurar facilidade na cópia de segurança e troca de dados e programas.

TAMANHO REAL

Diminuir o limite

Para melhorar a série CJ1, a Omron introduz o CJ1M-CPU11 e o CJ1M-CPU21, CPU's que oferecem a melhor relação preço/desempenho disponível actualmente. O CJ1M-CPU11/21 reúne as mesmas capacidades das outras CPU da família mas apenas com o indispensável, tornando-o ideal para aplicações onde é necessária potência de processamento mas não é necessária tanta memória ou capacidade de E/S. Obviamente o CJ1M-CPU11 possui o conjunto completo de instruções das CPU maiores e pode fornecer funções poderosas para sequenciação, processamento de dados, aritmética e controlo. A versão CPU21 oferece todas as características da CPU11 e inclui funcionalidade de E/S incorporada.

Compacto e expansível

As E/S incorporadas com quatro entradas de interrupção, dois contadores rápidos (100 kHz) e saídas de trem de impulsos (CPU2x) permitem um desempenho excelente no controlo de posição. Para expandir o CJ1M-CPU11/21, pode utilizar todas as unidades da série CJ1 existentes, mesmo instalando dez eficientes unidades de E/S e de funções especiais, tais como unidades de comunicação, controlo e de E/S analógica e digital. Se ficar sem potência ou capacidade com o CPU11/21, pode substituí-lo facilmente por outra CPU CJ1, com capacidades até 120 kSteps (passos) de memória de programa, 2560 pontos de E/S e até 20 ns de tempo de execução binário. Tudo o que necessita numa única família – CS1.

OMRON



Aberto para comunicação

O CJ1M-CPU11/21 segue o exemplo dos outros membros da família CJ1, oferecendo comunicações potentes sobre uma vasta gama de redes de norma aberta (Ethernet, PROFIBUS-DP, Device Net), redes proprietárias rentáveis (ControllerLink, CompoBus/S) ou em sistemas série ou CAN totalmente configuráveis pelo utilizador. E, a exemplo de todas as CPU CJ1, é fornecido de origem com duas portas série.

Standard ou personalizado

A série CJ1 cresceu, tendo sido adicionadas mais opções e flexibilidade. A família PLC CJ1 possui actualmente 12 modelos de CPU distintos e mais de 60 tipos de unidades de expansão, sendo totalmente compatível com os PLC da série CS1 em bastidor. Obviamente a Omron está à sua inteira disposição caso necessite de uma solução diferente (não standard). A Omron possui um departamento Europeu de desenvolvimento e personalização que está pronto a responder rapidamente às suas necessidades.



Resumo das CPU CJ1M da OMRON

- PLC modular de gama baixa
- Totalmente compatível com as séries CJ1G/H e CS1
- Rápido – tempo de execução binário de 100ns
- Flexível – mais de 60 tipos de unidades de expansão
- Controlo de posição poderoso incorporado
- Comunicação transparente em qualquer tipo de rede
- Controlo distribuído sem qualquer esforço
- Software de programação coerente

Unidades CPU CJ1M

| Descrição | Capacidade para E/S digitais | Capacidade de programa | Memória de dados | Tempo de execução de instrução bit | E/S incorporadas | Modelo |
|--------------------------------------|---|------------------------|----------------------|------------------------------------|--|--------------------|
| Unidade CPU CJ1M com E/S incorporada | 640 pontos (com 1 bastidor de expansão) | 20 kSteps (Passos) | 32 kWords (Palavras) | 100 ns | 10 entrada + 6 saídas, incluindo contadores de alta velocidade e saída de impulsos | CJ1 M-CPU23 |
| | 320 pontos | 10 kSteps (Passos) | | | | CJ1 M-CPU22 |
| | 160 pontos | 5 kSteps (Passos) | | | | CJ1 M-CPU21 (nova) |
| Unidade CPU CJ1M | 640 pontos (com 1 bastidor de expansão) | 20 kSteps (Passos) | | | n.d. | CJ1 M-CPU13 |
| | 320 pontos | 10 kSteps (Passos) | | | | CJ1 M-CPU12 |
| | 160 pontos | 5 kSteps (Passos) | | | | CJ1 M-CPU11 (nova) |

OMRON ELECTRONICS, LDA.
Edifício OMRON
Rua de São Tomé, Lote 131
2689-510 PRIOR VELHO
Tel: +351 21 942 94 00
Fax: +351 21 941 78 99

Delegação Norte
Rua do Jardim, 170 - 2º
4405-823 VILANOVA DE GAIA
Tel: +351 22 715 59 00
Fax: +351 22 713 51 52
www.omron.pt



Unidade de E/S CJ1W-MAD42

Unidades de E/S sem parafusos CJ1

Sem parafusos – a ligação de confiança!

A tecnologia de arcos de fixação sem parafusos reduz drasticamente o tempo de ligação, elimina a manutenção de rotina e fornece uma ligação muito fiável. Por essas razões a Omron desenvolveu uma nova gama de unidades de E/S sem parafusos para a série PLC CJ1.



Advanced Industrial Automation



Concebida e fabricada na Europa em conformidade com as elevadas normas de qualidade da Omron, as unidades de E/S sem parafusos CJ1 são uma alternativa ideal para os fabricantes de Quadros Eléctricos e de máquinas que pretendem reduzir o tempo de instalação e ir um passo mais além em termos de segurança e fiabilidade nas ligações de controlo.

Versátil e fiável

Os terminais de E/S sem parafusos da Omron podem ser ligados a uma vasta gama de fios, sólidos ou entrançados, com ou sem ponteira de protecção, de 0,08 a 1,5 mm². Os terminais comuns da fonte de alimentação podem ser ligados a dois fios cada, para maior facilidade na distribuição de energia.

Porque os arcos de fixação com mola seguram os fios nas respectivas ranhuras, a ligação não ficará solta devido ao choque ou a vibração. Assim é eliminada a necessidade da tarefa rotineira de voltar a apertar os parafusos durante a inspecção de rotina. Durante os testes e a entrada em funcionamento, as molas do arco de fixação podem ser testadas para verificar os níveis de sinal. No entanto o terminal é sempre seguro ao toque, com ligações efectuadas ou não.

Fácil de utilizar

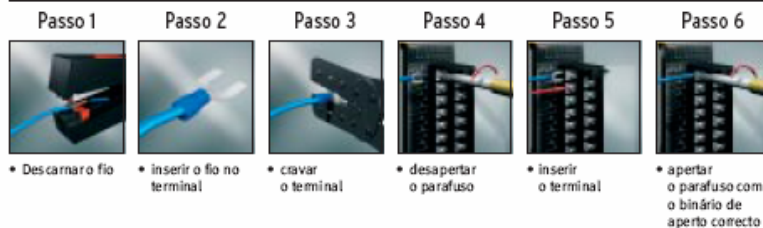
É simples ligar e desligar os fios individuais do bloco terminal, através da inserção de uma chave de parafusos no orifício de desaperto. Os terminais com parafusos tradicionais têm de ser apertados com o binário de aperto correcto; com a E/S sem parafusos da Omron, a pressão de contacto é sempre necessária. Uma pastilha especial presente na mola do arco de fixação evita a sobretensão, assegurando que a mola fica sempre em perfeitas condições.

O novo terminal de E/S sem parafusos pode ser trocado com os conectores existentes, e pode ser utilizado em qualquer unidade CJ1 que utilize o bloco de terminal de parafusos de 18 pontos clássico. São tão simples de ligar ou desligar; não são necessárias ferramentas!

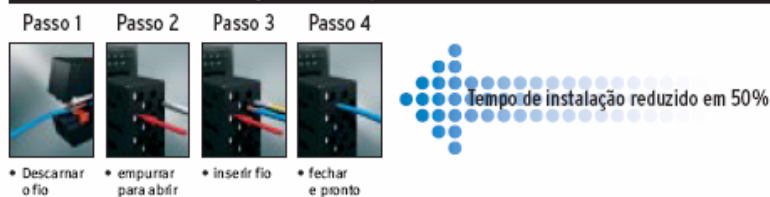
OMRON

A ligação de fios a terminais com parafusos convencionais requer muito trabalho. É por isso que faz sentido utilizar as unidades E/S sem parafusos da Omron para todas as ligações de E/S!

Ligar um terminal com parafusos convencional



Ligar a E/S sem parafusos da Omron!



O novo bloco terminal de E/S sem parafusos CJ1 é fornecido em conjunto com as seguintes unidades

| Modelo | Tipo | Especificações |
|--------------------|---|--|
| CJ1W-ID211 (SL) | 16 entradas DC | 24V DC, 7mA |
| CJ1W-OC201 (SL) | 8 relés de saída | 250V AC, 2A, (máx. 16A total) |
| CJ1W-OC211 (SL) | 16 relés de saída | 250V AC, 2A, (máx. 8A total, um comum) |
| CJ1W-OD211 (SL) | 16 saídas de transistor (sink) | 12-24V DC, 0,5A, (máx. 5A total, um comum) |
| CJ1W-OD212 (SL) | 16 saídas de transistor (source) | 24V DC, 0,5A, (máx. 5A total, um comum) |
| CJ1W-AD041-V1 (SL) | 4 entradas analógicas | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V, 4 a 20mA |
| CJ1W-AD081-V1 (SL) | 8 entradas analógicas | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V, 4 a 20mA |
| CJ1W-DA021 (SL) | 2 saídas analógicas | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V, 4 a 20mA |
| CJ1W-DA041 (SL) | 4 saídas analógicas | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V, 4 a 20mA |
| CJ1W-DA08C (SL) | 8 saídas analógicas (corrente) | 4 a 20mA |
| CJ1W-DA08V (SL) | 8 saídas analógicas (tensão) | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V |
| CJ1W-MAD42 (SL) | 4 saídas analógicas + 2 saídas analógicas | 1 a 5V, 0 a 10V, 0 a 5V, -10 a 10V, 4 a 20mA |
| CJ1W-TS561 (SL) | 6 entradas de termopar | Tipo J / Tipo K seleccionáveis |
| CJ1W-TS562 (SL) | 6 entradas RTD | Pt100 / Pt1000 seleccionáveis |

OMRON ELECTRONICS, LDA.
Edifício OMRON
Rua de São Tomé, Lote 131
2689-510 PRIOR VELHO
Tel: +351 21 942 94 00
Fax: +351 21 941 78 99

Delegação Norte
Rua do Jardim, 170 - 2º
4405-823 VILANOVA DE GAIA
Tel: +351 22 715 59 00
Fax: +351 22 713 51 52
www.omron.pt



Breve descrição das características de E/S sem parafusos CJ1 da Omron:

- Diminuição acentuada nos tempos de ligação
- Aceita várias gamas de modelos de ligação
- Fácil de ligar e desligar; não são necessárias ferramentas
- Fácil para testar sinais, mesmo enquanto a ligação está estabelecida
- A forma de construção evita a sobretensão da mola do arco de fixação
- Permutável com os terminais com parafuso CJ1 existentes
- Seguro – as peças metálicas não estão em contacto com os dedos

Blocos de terminal sem parafusos, de reserva

| |
|---|
| CJ-WM01-SBP-S |
| Conjunto de 5 blocos de terminal sem parafusos |
| Adequado para todas as unidades de E/S do CJ1 com blocos de terminais de 18 pontos (excepto unidades de entrada de termopar com sensor de compensação de junção a frio externa, e.g. CJ1WTC00...) |



Position Control Unit CJ1W-NC133

OMRON

CJ1W-NC□□

Position control units

High-speed, High-precision positioning with 1, 2, or 4 axes

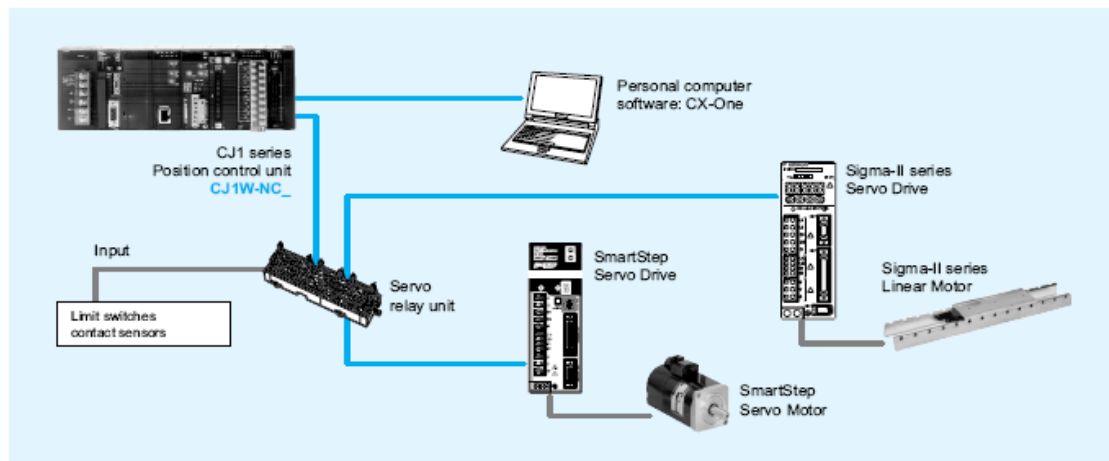
- Positioning can be done by direct ladder commands
- Position and speed control
- Linear interpolation
- Interrupt feeding function
- Positioning of 100 points done from memory
- S-curve acceleration/deceleration, origin search, backlash compensation, and other features are also supported.
- Positioning data is saved in internal flash memory, eliminating the need to maintain a backup battery.
- Use Windows-based support software (CX-position) to easily create positioning data and store data and parameters in files.



Function

These position control units support positioning control via pulse-train outputs. Positioning is performed using trapezoidal or S-curve acceleration and deceleration. Models are available with 1, 2, or 4 axes control, and can be used in combination with servo drives or stepping motors that accept pulse-train control.

System configuration



Specifications

| | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------------|--|
| Model | CJ1W-NC113 CJ1W-NC133 | CJ1W-NC213 CJ1W-NC233 | CJ1W-NC413 CJ1W-NC433 |
| Unit name | Position control unit | | |
| Classification | Special I/O unit | | |
| Unit numbers | 0 to 95 | | 0 to 94 |
| Control method | Open-loop control by pulse train output | | |
| Control output interface | CJ1W-NC□13: Open-collector output CJ1W-NC□33: Line-driver output | | |
| Controlled axes | 1 | 2 | 4 |
| Operating modes | Direct operation or memory operation | | |
| Data format | Binary (hexadecimal) | | |
| Affect on scan time for end refresh | 0.29 to 0.41 ms max./unit | | |
| Affect on scan time for IOWR/IORD | 0.6 to 0.7 ms max./instructions | | |
| Startup time | 2 ms max. (refer to operation manual for conditions) | | |
| Position data | -1,073,741,823 to +1,073,741,823 pulses | | |
| No. of positions | 100 per axis | | |
| Speed data | 1 to 500 kpps (in 1 pps units) | | |
| No. of speeds | 100 per axis | | |
| Acceleration/deceleration times | 0 to 250 s (time to max. speed) | | |
| Acceleration/deceleration curves | Trapezoidal or S-curve | | |
| Saving data in CPU | Flash memory | | |
| Windows-based support software | CX-position (WS02-NCTC1-E) | | |
| Ambient operating temperature | 0 to 55 °C | | 0 to 50 °C |
| External power supply | 24 VDC ±10%, 5 VDC ±5% (line driver only) | | 24 VDC ±5%, 5 VDC ±5% (line driver only) |

Ordering information

Position control unit

| Name | Model |
|--|------------|
| 1 axis position control unit. Open-collector output. | CJ1W-NC113 |
| 2 axes position control unit. Open-collector output. | CJ1W-NC213 |
| 4 axes position control unit. Open-collector output. | CJ1W-NC413 |
| 1 axis position control unit. Line-driver output. | CJ1W-NC133 |
| 2 axes position control unit. Line-driver output. | CJ1W-NC233 |
| 4 axes position control unit. Line-driver output. | CJ1W-NC433 |

Servo drive cables

Note: Refer the selected servo systems section for cable and servo relay units information.

Computer software

| Specifications | Model |
|----------------|--------|
| CX-One | CX-One |

ALL DIMENSIONS SHOWN ARE IN MILLIMETERS.

To convert millimeters into inches, multiply by 0.03937. To convert grams into ounces, multiply by 0.03527.

Position Software WS02-NCTC1-E

About this Manual:

This manual describes the specifications and operation of the WS02-NCTC1-E CX-Position software and includes the sections described below. The CX-Position runs on Windows 95, 98, 2000, or NT operating systems and is used to create data for and monitor the operation of the CS1W-NC□□□ and CJ1W-NC□□□ Position Control Units (referred to as NC Units in this manual).

Please read this manual carefully and be sure you understand the information provided before attempting to install and operate CX-Position. Please read the following manuals carefully and be sure you understand the information provided before using a Position Control Unit.

| NC Unit model number | Manual name | Cat. No. |
|--------------------------------|---|----------|
| CS1W-NC113/213/413/133/233/433 | CS1W-NC113/213/413/133/233/433 Position Control Units Operation Manual | W376 |
| CJ1W-NC113/213/413/133/233/433 | CJ1W-NC113/213/413/133/233/433 Position Control Units Operation Manual | W397 |

Section 1 provides an overview of CX-Position, its functions, and the system configuration in which it is used.

Section 2 provides information about CX-Position installation, connecting to the PC, and basic operating procedures

Section 3 describes the procedures for creating new projects, as well as those for adding and deleting Programmable Controllers (PCs) and Position Control Units (NCs).

Section 4 describes the procedures used to edit settings

Section 5 provides information about saving and reading files.

Section 6 provides information on default configurations for connecting online.

Section 7 provides information on data transfer and verification operations between the CX-Position and NC Units, and about operations for writing data transferred to NC Units into the NC Unit flash memory.

Section 8 provides information about monitoring NC Units. The NC Unit's current positions, error codes, and status are displayed on the NC Monitor. Monitor Units are also available, displaying sequence numbers and current positions for up to four Units simultaneously. Operating memory area monitoring, operating data area monitoring, and NC Unit error logs can also be displayed. For details on NC error log display, refer to *10-1 NC Unit Error Logs*.

Section 9 provides information about printing data.

Section 10 provides information about NC Unit error log displays and troubleshooting.

⚠ WARNING Failure to read and understand the information provided in this manual may result in personal injury or death, damage to the product, or product failure. Please read each section in its entirety and be sure you understand the information provided in the section and related sections before attempting any of the procedures or operations given.

Transmissor de pressão E913-023-B22R

BOURDON SEDEME

Transmetteurs inox destinés aux applications industrielles les plus diverses : gestion de réseaux de fluides, incorporation dans des équipements, contrôle de la pression d'un fluide en continu. Basés sur un élément sensible technologie céramique TRANSBAR®, ces transmetteurs sont compatibles avec les fluides les plus agressifs.

- Mesure du vide et pression, absolue ou relative
- Technologie céramique TRANSBAR®
- Réglage du zéro en série ($\pm 10\%$ E.M.)
- Construction soudée - produit renforcé
- Modularité des raccordements électriques et hydrauliques
- Conforme CEE
- Bonne tenue aux conditions sévères (nombre de cycles : $\geq 10^7$ cycles)
- Version sécurité intrinsèque (Y910) : certificat LCIE 99-E6074X; homologation EEX ia IIC T6 ou T5
- Version marine marchande homologuée (Bureau Veritas, DNV ...)

Caractéristiques (20°C)

Etendue de mesure:

0 ... 25 mbar à 0 ... 600 bar en vide, vide et pression, pression relative ou absolue

Signal de sortie :

E912 - Y912 : 0 - 10 Vdc
E913 - Y913 : 4 - 20 mA (sauf - 1 + 0 bar où - 1 = 20 mA, 0 = 4 mA)
E914 - Y914 : 1 - 5 Vdc
E916 - Y916 : 0 - 20 mA

Tension d'alimentation :

E912 : 14 à 40 Vdc Y912 : 14 à 28 Vdc
E913 - E914 : 11 à 40 Vdc Y913 - Y914 : 11 à 28 Vdc
E916 : 8 à 40 Vdc Y916 : 8 à 28 Vdc

Option : haute tension : jusqu'à 48 Vdc

basse tension : 8 à 32 Vdc (E913, E914)

Pour les versions sécurité intrinsèque Y910, les paramètres électriques du matériel à associer sont :

$U_{alim} \leq 28$ Vdc ; $I \leq 120$ mA ; $P \leq 0,8$ W

Isolement :

> 100 M Ω sous 250 Vdc. 500 Vdc en option.

Courant d'entrée maximum :

E912 - Y912 / E914 - Y914 : 6 mA
E916 - Y916 : < 25 mA

Impédance de charge (+ M / - M) :

E912 - Y912 : $\geq 2,5$ k Ω
E914 - Y914 : ≥ 1 k Ω
E913, E916 : voir diagrammes au verso

Compatibilité électromagnétique :

- Normes EN50082-1 et -2 (immunité)
- Normes EN50081-1 et -2 (émission: inférieure d'un facteur 100 au maximum autorisé) avec câble blindé, blindage relié aux 2 extrémités.

Erreur globale (linéarité, hystérésis et répétabilité) :

typ. $\pm 0,2\%$ E.M. } par rapport à la meilleure droite
max. $\pm 0,3\%$ E.M. }
Pour $P \leq 60$ mbar et $P = 600$ bar :
typ. $\pm 0,6\%$ E.M. } par rapport à la meilleure droite
max. $\pm 1\%$ E.M. }

Transmetteurs de pression Standard E910 Sécurité intrinsèque Y910



E910 option IP68

Température d'utilisation :

• Ambiante (Ta) :

Standard E910 : - 25 à + 85°C

Option E910 : Basse T° : - 40 à + 85°C / Haute T° : - 25 à + 100°C

Standard Y910 : - 25 à + 40°C pour homologation T6

- 25 à + 70°C pour homologation T5

• Du fluide : - 25 à + 100°C (Ta \leq 50°C)

Température de stockage :

- 40°C à + 85°C

Gamme de température compensée (zéro et sensibilité) :

Standard : - 10 à + 55°C. Option : - 10 à + 70°C

Dérive thermique du zéro :

$\pm 0,025\%$ EM/°C max (sauf $P \leq 1$ bar: $\pm 0,06\%$ EM/°C)

Option : $\pm 0,015\%$ EM/°C max (sauf $P \leq 1$ bar: $\pm 0,025\%$ EM/°C)

Variation thermique de sensibilité :

typ : $\pm 0,01\%$ /°C - max : $\pm 0,015\%$ /°C

Matériaux en contact avec le fluide :

Céramique + acier inox 1.4404 (316 L) + joint NBR (standard)

Raccordement :

• Electrique : connecteur DIN 43650 (standard)

• Pression : G 1/2 (standard)

Nombreuses options disponibles

Indice de protection (EN 60529) :

Standard : IP65 (connecteur DIN)

Option : IP67 ou IP68 (suivant raccordement)

Temps de réponse typique :

≤ 3 ms

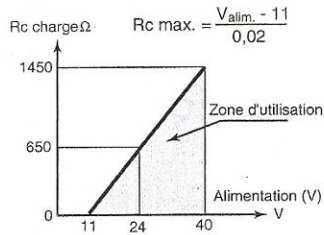
Tenue aux vibrations (EN 60068-2-6) :

1,5 mm (10 - 55 Hz), 20 g (55 Hz - 2 kHz)

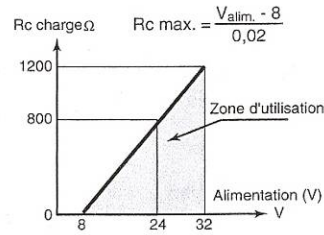
Tenue aux chocs (EN 60028-2-32) :

25 chutes de 1 m sur sol béton

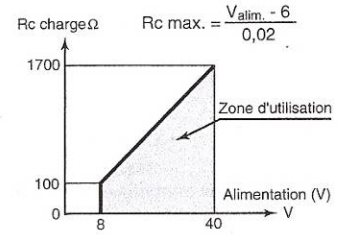
Diagrammes de charge



E913 : 4-20 mA standard



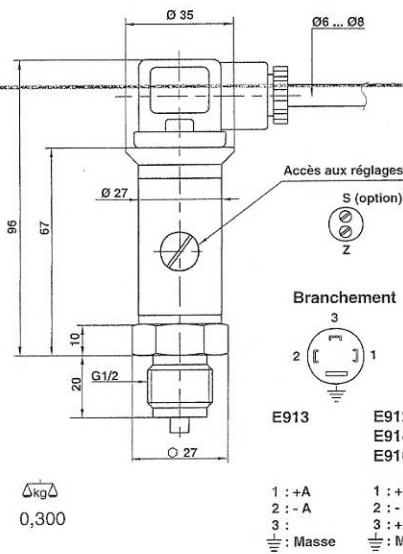
E913 : 4-20 mA basse tension



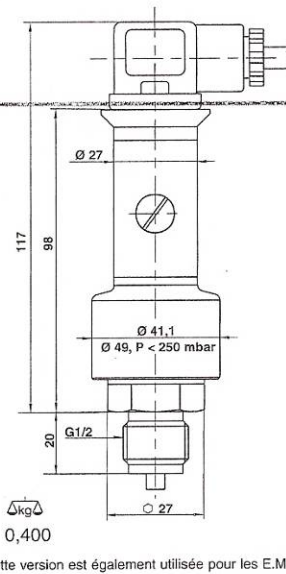
E916 : version 0-20 mA

Encombres (mm), branchements

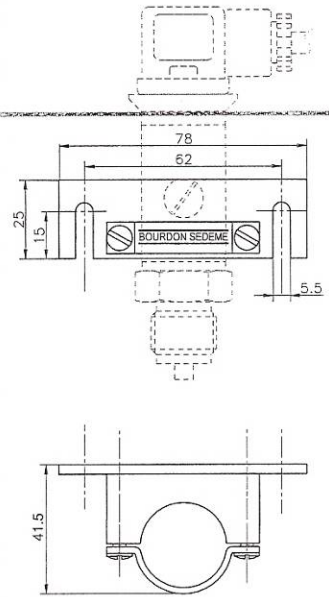
Standard. P ≥ 1 bar Connecteur DIN 43650



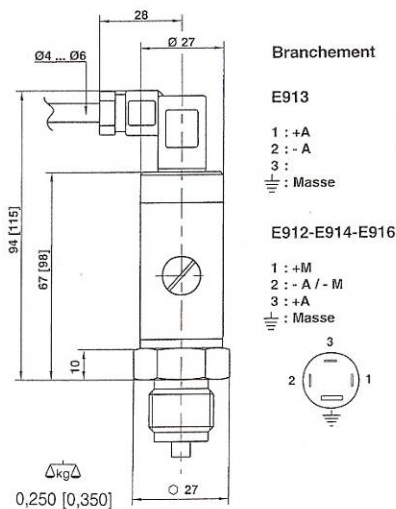
Version standard pour P < 1 bar



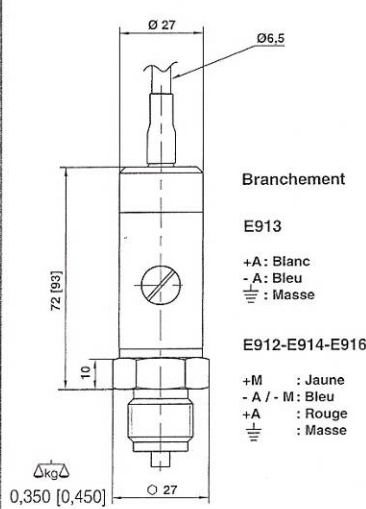
Option bride de fixation



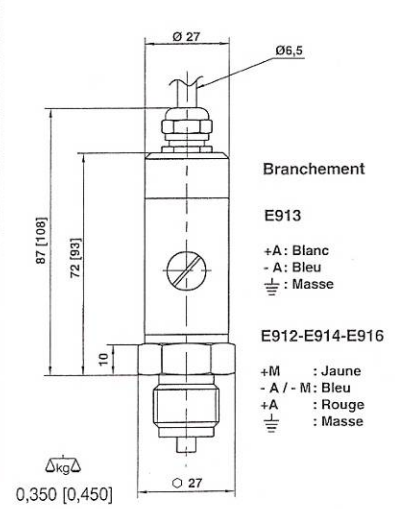
Option Connecteur Micro DIN 43650C (8 mm)



Option Sortie câble (longueur 1,5 m)

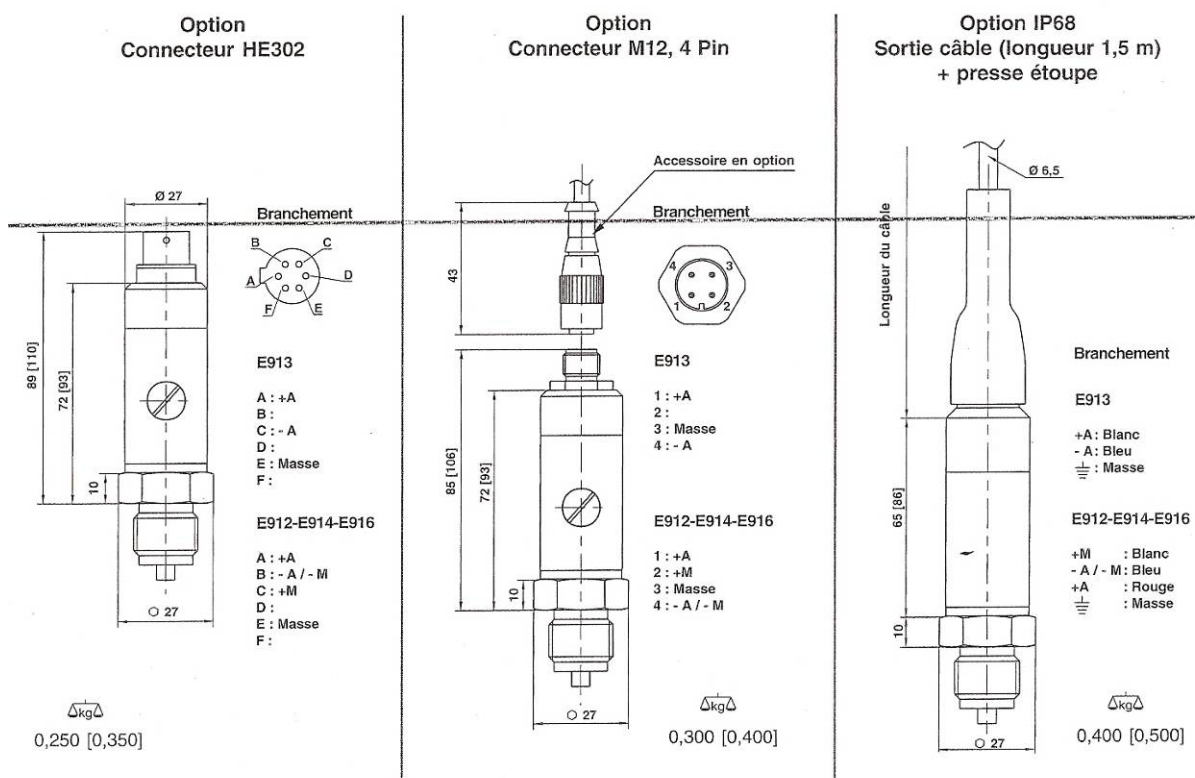
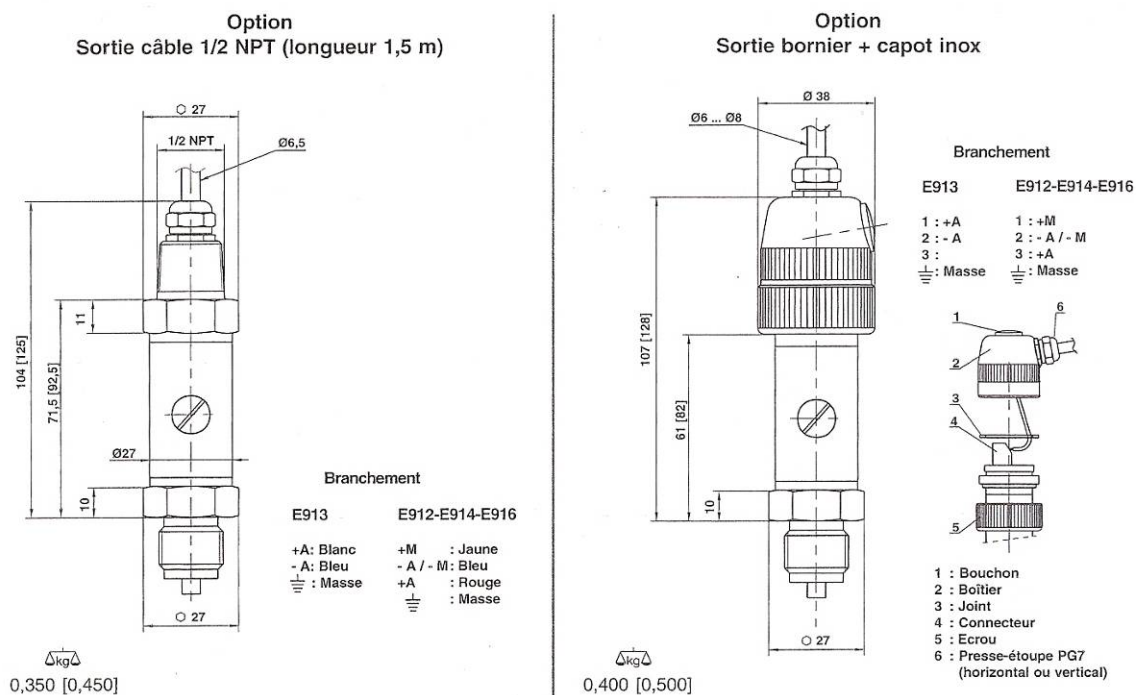


Option Sortie câble (longueur 1,5 m) + presse étoupe PG7



[xx] : dimensions et poids pour les versions P < 1 bar.

Encombrements (mm), branchements



[xx] : dimensions et poids pour les versions P < 1 bar.

Options non codifiées (à libeller en clair après la codification)

- Transmetteur dégraissé
- Protection foudre
- Version marine marchande
- Tension d'alimentation (haute/basse)⁽¹⁾
- Température ambiante (haute/basse)⁽¹⁾
- Gamme de température compensée (de -10 à +70°C)
- Dérive thermique de zéro: $\pm 0,015\%$ EM/°C max.
- Réglage du gain $\pm 10\%$ de l'E.M.
- Réglage du gain $\pm 50\%$ de l'E.M. (excepté E.M. ≤ 0 +0,25 bar et 0 +600 bar)
- Etalonnage du capteur avec PV : Q1060
- Vis frein
- Autres raccordements hydrauliques

- Autres raccordements électriques :
 - connecteur Micro DIN 43650C (IP65 ⁽²⁾)
 - sortie câble (1,5 m) (IP65)
 - sortie câble (1,5 m) + presse étoupe PG7 (IP65, IP67 ⁽³⁾)
 - sortie câble 1/2 NPT (1,5 m) (IP65)
 - sortie bornier + capot inox (IP65, IP67)
 - connecteur HE302 (IP65)
 - connecteur M12, 4 Pin (IP65)
- Version IP68⁽⁴⁾: sans accès réglages, sortie électrique presse étoupe, câble étanche ventilé (1,5 m)
- Longueur de câble supplémentaire
- Bride de fixation en acier inoxydable
- Autres unités de mesure : kPa (code D), MPa (code E), kg/cm² (code F), psi (code H), mbar (code N)

⁽¹⁾ voir détails dans les caractéristiques / ⁽²⁾ IP65 : projection d'eau / ⁽³⁾ IP67 : immersion temporaire / ⁽⁴⁾ IP68 : immersion prolongée

Etendues de mesure

| | Pression en mbar | | | | | | | | Pression en bar | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----------------|--------|--------|------|------|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|---|
| vide et pression | — | — | — | — | — | — | — | — | -1+0 | -1+0,6 | -1+1,5 | -1+3 | -1+5 | -1+9 | -1+15 | -1+24 | -1+39 | — | — | — | — | — | — | — |
| pression | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 400 | 600 | 1 | 1,6 | 2,5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 400 | 600 | — |
| Domaine de mesure | 27,5 | 44 | 66 | 110 | 175 | 275 | 440 | 660 | 1,1 | 1,75 | 2,75 | 4,4 | 6,6 | 11 | 17,6 | 27,5 | 44 | 66 | 110 | 176 | 275 | 440 | 660 | — |
| Surpression admissible | 110 | 110 | 275 | 500 | 500 | 1000 | 1000 | 1000 | 3 | 3 | 4 | 8 | 12 | 20 | 32 | 50 | 80 | 120 | 200 | 320 | 500 | 600 | 800 | — |
| Pression d'éclatement | 200 | 200 | 500 | 1000 | 1000 | 2000 | 2000 | 2000 | 6 | 6 | 7 | 12 | 18 | 30 | 48 | 75 | 120 | 180 | 300 | 480 | 600 | 800 | 1000 | — |

Codification

Famille :

Standard ————
Sécurité intrinsèque —

E
Y

Type :

91

Signal de sortie :

0-10 Vdc

4-20 mA

1-5 Vdc

0-20 mA

2

3

4

6

Raccord hydraulique :

G 1/4

G 1/2 standard

1/4 NPT

1/2 NPT

02

03

05

06

Joint de cellule :

NBR (Nitrile) standard

CR (Néoprène) (P \geq 250 mbar)

EPDM (P \geq 250 mbar)

Kalrez® (P \geq 1 bar)

FKM (Viton®)

3

4

5

7

9

Kalrez® et Viton® sont des marques déposées de DuPont Dow Elastomers

*

Mode de pression :

A Absolue
R Relative

| code | Etendue de mesure en mbar | | | |
|------|---------------------------|---|-----|-----|
| N05 | 0 | + | 25 | - R |
| N06 | 0 | + | 40 | - R |
| N07 | 0 | + | 60 | - R |
| N08 | 0 | + | 100 | - R |
| N09 | 0 | + | 160 | - R |
| N10 | 0 | + | 250 | A R |
| N11 | 0 | + | 400 | A R |
| N12 | 0 | + | 600 | A R |

| code | Etendue de mesure en bar. Vide pression | | | |
|------|---|---|-----|-----|
| B59 | -1 | + | 0 | - R |
| B72 | -1 | + | 0,6 | - R |
| B74 | -1 | + | 1,5 | - R |
| B76 | -1 | + | 3 | - R |
| B77 | -1 | + | 5 | - R |
| B79 | -1 | + | 9 | - R |
| B81 | -1 | + | 15 | - R |
| B82 | -1 | + | 24 | - R |
| B1L | -1 | + | 39 | - R |
| B15 | 0 | + | 1 | A R |
| B16 | 0 | + | 1,6 | A R |
| B18 | 0 | + | 2,5 | A R |
| B19 | 0 | + | 4 | A R |
| B20 | 0 | + | 6 | A R |
| B22 | 0 | + | 10 | A R |
| B24 | 0 | + | 16 | A R |
| B26 | 0 | + | 25 | A R |
| B27 | 0 | + | 40 | A R |
| B29 | 0 | + | 60 | A R |
| B31 | 0 | + | 100 | A R |
| B33 | 0 | + | 160 | A R |
| B35 | 0 | + | 250 | A R |
| B38 | 0 | + | 400 | A R |
| B39 | 0 | + | 600 | A R |

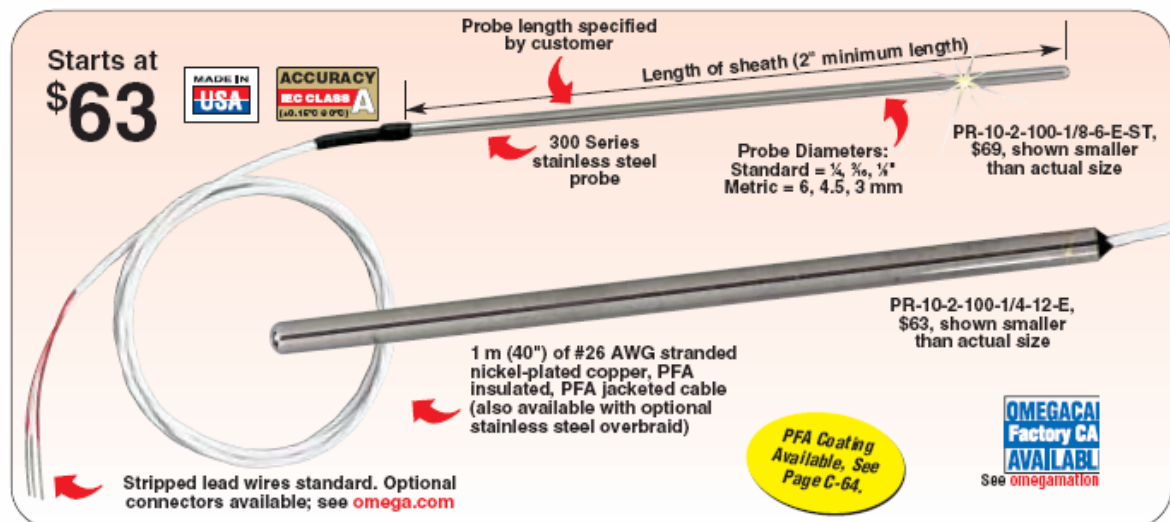
Sous réserve des modifications sans préavis

* Les options non codifiées sont à libeller en clair après la codification

Sensor de temperatura RTD (PT100) PR-10-2-100-1/4-6-E

General Purpose RTD Probes With PFA Jacketed Cables for Laboratory Applications

- ✓ Transitions Directly to Lead Wires (No Transition Fitting)
- ✓ Compact Design for Applications with Space Restrictions
- ✓ Available in Standard and Metric Sizes
- ✓ Temperature Range: -200 to 600°C (Cable and last 2" of probe to 260°C)
- ✓ High-Accuracy Wire Wound, 100 Ω Class "A" DIN Platinum Elements per IEC 751 ($\alpha = 0.00385 \Omega/\Omega^\circ\text{C}$)
- ✓ 2-, 3-, 4-Wire Constructions Available



Standard Dimensions

☒ MOST POPULAR MODEL HIGHLIGHTED!

| To Order (Specify Model Number) | | | | | |
|---------------------------------|------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
| Model Number | Lead Wire Style* | Sheath Length | Price | | |
| | | | 1/8" Dia. | 1/4" Dia. | 1/2" Dia. |
| PR-10-2-100-(*)-6-E | 3 Wire | 6" | \$63 | \$69 | \$69 |
| PR-10-2-100-(*)-12-E | 3 Wire | 12" | 63 | 69 | 69 |
| PR-10-2-100-(*)-18-E | 3 Wire | 18" | 66 | 72 | 72 |
| PR-10-2-100-(*)-24-E | 3 Wire | 24" | 69 | 75 | 75 |

* Specify "1/8", "3/16", or "1/4" for probe diameter in inches (see page C-61 for 1/8" diameter probes). To order with shrink tube strain relief, specify "-ST" at end of model number. To order probes in intermediate lengths, change model number, using next longer probe price. Over 24", add \$1 per inch of probe length. Stainless steel overbraid or BX cable also available. For leads longer than 40", add lead length to end of model number and \$2.25 per foot to the price.

Ordering Example: PR-10-2-100-1/8-12-E-OTP, 100 Ω, class "A" RTD with a 1/8" diameter by 12" long probe, 40" of 3-wire cable and OTP connector, \$76.

Metric Dimensions

| To Order (Specify Model Number) | | | | | |
|---------------------------------|------------------|---------------|-----------|-------------|-----------|
| Model Number | Lead Wire Style* | Sheath Length | Price | | |
| | | | 6 mm Dia. | 4.5 mm Dia. | 3 mm Dia. |
| PR-10-2-100-(*)-150-E | 3 Wire | 150 mm | \$63 | \$69 | \$69 |
| PR-10-2-100-(*)-300-E | 3 Wire | 300 mm | 63 | 69 | 69 |
| PR-10-2-100-(*)-450-E | 3 Wire | 450 mm | 66 | 72 | 72 |
| PR-10-2-100-(*)-600-E | 3 Wire | 600 mm | 69 | 75 | 75 |

* Specify "M30" for 3 mm, "M45" for 4.5 mm or "M60" for 6 mm for probe diameter in millimeters (see page C-61 for 1.5 mm diameter probes). To order with shrink tube strain relief, specify "-ST" at end of model number. To order probes in intermediate lengths, change model number, using next longer probe price. Over 600 mm, add \$1.25 per 25 mm of probe length. For leads longer than 1 m, add lead length to end of model number, and \$7 per meter to price.

Ordering Example: PR-10-2-100-M45-150-E-OTP, 100 Ω, class "A" RTD with a 4.5 mm diameter by 150 mm long probe, 1 m of 3-wire cable and OTP connector, \$76.

C-51

Rotary Servo Drive SGDH-20DE-OY

OMRON

SGMAH-□, SGMPH-□, SGMGH-□, SGMSH-□, SGMUH-□, SGM BH-□

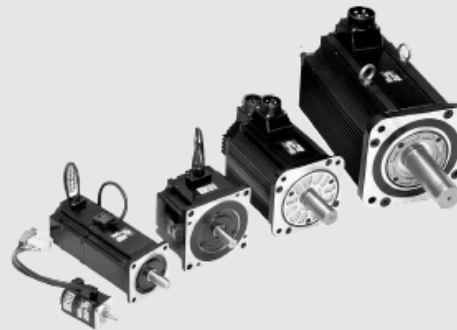
Sigma-II rotary servo motors

**The Ideal servo family for motion control.
Fast response, high speed, and high accuracy.**

- 6 different designs provide a complete range of servo motors to meet the power, speed and performance required per each application.
- Peak torque 300% of nominal during 3 seconds
- Automatic motor recognition by servo drive
- IP67 and shaft oil seal available
- High resolution encoders
- Absolute multiturn encoder solution
- Compact design and robust construction

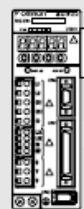
Ratings

- 230 VAC from 30 W to 1.5k W
(rated torque from 0.09 to 4.77 Nm)
- 400 VAC from 300 W to 55 kW
(rated torque from 0.95 Nm to 350 Nm)



System configuration

(Refer to servo drive chapter)



Servo drive with option boards for flexible system configuration

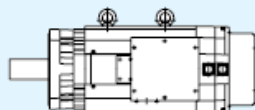
Sigma-II Servo Drive

Drive options



Intelligent Servo Drive

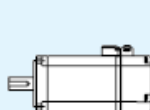
XtraDrive



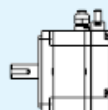
SGMBH
Servo Motor
1500 rpm
(22 kW-55 kW)



Encoder cable



SGMAH
Servo Motor
3000 rpm
(30-750 W)



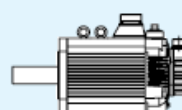
SGMPH
Servo Motor
3000 rpm
(100-1500 W)

Power and encoder cables



Power cable

Encoder cable



SGMGH
Servo Motor
1500 rpm
(450W-15 kW)









SGMUH
Servo Motor
3000 rpm
(1-5 kW)



SGMSH
Servo Motor
6000 rpm
(1-4 kW)

Servo motor / servo drive combination

| | Sigma-II rotary servo motor | | | | Sigma-II servo drive | | XtraDrive servo drive | |
|--|-----------------------------|--------------|----------|------------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | Voltage | Rated torque | Capacity | Model | 230 V (1-phase) | 400 V (3-phase) | 230 V (1-phase) | 400 V (3-phase) |
| SGMAH (3000 min ⁻¹)  | 230 V | 0.0955 N.m | 30 W | SGMAH-A3A□ | SGDH-A3AE-OY | - | XD-P3-MN01 | - |
| | | 0.159 N.m | 50 W | SGMAH-A5A□ | SGDH-A5AE-OY | - | XD-P5-MN01 | - |
| | | 0.318 N.m | 100 W | SGMAH-01A□ | SGDH-01AE-OY | - | XD-01-MN01 | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMAH-02A□ | SGDH-02AE-OY | - | XD-02-MN01 | - |
| | | 1.27 N.m | 400 W | SGMAH-04A□ | SGDH-04AE-OY | - | XD-04-MN01 | - |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMAH-08A□ | SGDH-08AE-S-OY | - | XD-08-MN | - |
| | 400 V | 0.955 N.m | 300 W | SGMAH-03D□ | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 2.07 N.m | 650 W | SGMAH-07D□ | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| SGMPH (3000 min ⁻¹)  | 230 V | 0.318 N.m | 100 W | SGMPH-01A□ | SGDH-01AE-OY | - | XD-01-MN01 | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMPH-02A□ | SGDH-02AE-OY | - | XD-02-MN01 | - |
| | | 1.27 N.m | 400 W | SGMPH-04A□ | SGDH-04AE-OY | - | XD-04-MN01 | - |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMPH-08A□ | SGDH-08AE-S-OY | - | XD-08-MN | - |
| | | 4.77 N.m | 1500 W | SGMPH-15A□ | SGDH-15AE-S-OY | - | XD-15-MN | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMPH-02D□ | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | 400 V | 1.27 N.m | 400 W | SGMPH-04D□ | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMPH-08D□ | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| SGMGH (1500 min ⁻¹)  | 400 V | 2.84 N.m | 0.45 kW | SGMGH-05D□ | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 5.39 N.m | 0.85 kW | SGMGH-09D□ | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 8.34 N.m | 1.3 kW | SGMGH-13D□ | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 11.5 N.m | 1.8 kW | SGMGH-20D□ | - | SGDH-20DE-OY | - | XD-20-TN |
| | | 18.6 N.m | 2.9 kW | SGMGH-30D□ | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 28.4 N.m | 4.4 kW | SGMGH-44D□ | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| | | 35.0 N.m | 5.5 kW | SGMGH-55D□ | - | SGDH-60DE-OY | - | - |
| | | 48.0 N.m | 7.5 kW | SGMGH-75D□ | - | SGDH-75DE-OY | - | - |
| SGMSH (3000 min ⁻¹)  | 400 V | 70.0 N.m | 11 kW | SGMGH-1AD□ | - | SGDH-1ADE-OY | - | - |
| | | 95.4 N.m | 15 kW | SGMGH-1ED□ | - | SGDH-1EDE-OY | - | - |
| | | 3.18 N.m | 1.0 kW | SGMSH-10D□ | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 4.90 N.m | 1.5 kW | SGMSH-15D□ | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 6.36 N.m | 2.0 kW | SGMSH-20D□ | - | SGDH-20DE-OY | - | XD-20-TN |
| | | 9.80 N.m | 3.0 kW | SGMSH-30D□ | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 12.6 N.m | 4.0 kW | SGMSH-40D□ | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| | | 15.8 N.m | 5.0 kW | SGMSH-50D□ | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| SGMUH (6000 min ⁻¹)  | 400 V | 1.59 N.m | 1.0 kW | SGMUH-10D□ | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 2.45 N.m | 1.5 kW | SGMUH-15D□ | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 4.9 N.m | 3.0 kW | SGMUH-30D□ | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 6.3 N.m | 4.0 kW | SGMUH-40D□ | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| SGMBH (1500 min ⁻¹)  | 400 V | 140 Nm | 22 kW | SGMBH-2BD□ | - | SGDH-2BDE | - | - |
| | | 191 Nm | 30 kW | SGMBH-3ZD□ | - | SGDH-3ZDE | - | - |
| | | 236 Nm | 37 kW | SGMBH-3GD□ | - | SGDH-3GDE | - | - |
| | | 286 Nm | 45 kW | SGMBH-4ED□ | - | SGDH-4EDE | - | - |
| | | 350 Nm | 55 kW | SGMBH-5ED□ | - | SGDH-5EDE | - | - |

Note: 1. For servo motor and cables part numbers refer to ordering information at the end of this chapter
2. Refer to the servo drive chapter for drive options selection and detailed specifications

Rotary Servo Motor SGMGH-20DCA6H-OY

OMRON

SGMAH-□, SGMPH-□, SGMGH-□, SGMSH-□, SGMUH-□, SGMBH-□

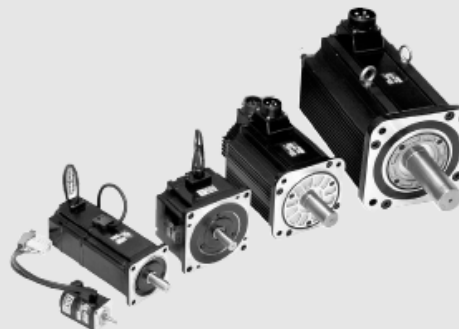
Sigma-II rotary servo motors

The ideal servo family for motion control.
Fast response, high speed, and high accuracy.

- 6 different designs provide a complete range of servo motors to meet the power, speed and performance required per each application.
- Peak torque 300% of nominal during 3 seconds
- Automatic motor recognition by servo drive
- IP67 and shaft oil seal available
- High resolution encoders
- Absolute multiturn encoder solution
- Compact design and robust construction

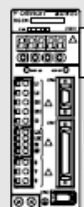
Ratings

- 230 VAC from 30 W to 1.5k W
(rated torque from 0.09 to 4.77 Nm)
- 400 VAC from 300 W to 55 kW
(rated torque from 0.95 Nm to 350 Nm)



System configuration

(Refer to servo drive chapter)



Servo drive with option boards for flexible system configuration

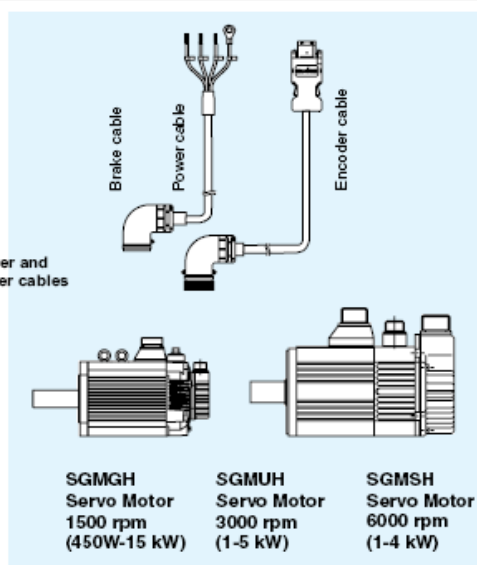
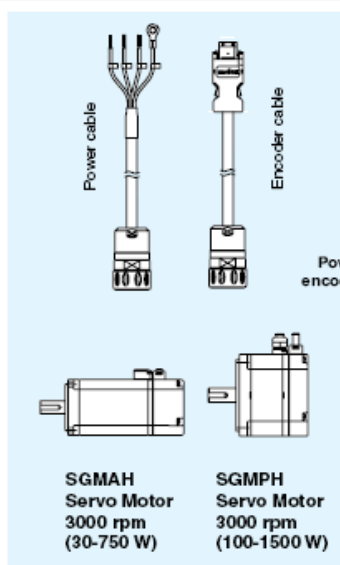
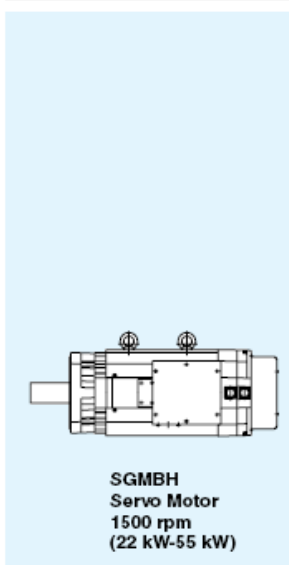
Sigma-II Servo Drive

Drive options









Intelligent Servo Drive

XtraDrive



Servo motor / servo drive combination

| | Sigma-II rotary servo motor | | | | Sigma-II servo drive | | XtraDrive servo drive | |
|--|-----------------------------|--------------|----------|-----------|----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | Voltage | Rated torque | Capacity | Model | 230 V (1-phase) | 400 V (3-phase) | 230 V (1-phase) | 400 V (3-phase) |
| SGMAH (3000 min ⁻¹)  | 230 V | 0.0955 N.m | 30 W | SGMAH-A3A | SGDH-A3AE-OY | - | XD-P3-MN01 | - |
| | | 0.159 N.m | 50 W | SGMAH-A5A | SGDH-A5AE-OY | - | XD-P5-MN01 | - |
| | | 0.318 N.m | 100 W | SGMAH-01A | SGDH-01AE-OY | - | XD-01-MN01 | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMAH-02A | SGDH-02AE-OY | - | XD-02-MN01 | - |
| | | 1.27 N.m | 400 W | SGMAH-04A | SGDH-04AE-OY | - | XD-04-MN01 | - |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMAH-08A | SGDH-08AE-S-OY | - | XD-08-MN | - |
| | 400 V | 0.955 N.m | 300 W | SGMAH-03D | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 2.07 N.m | 650 W | SGMAH-07D | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| SGMPH (3000 min ⁻¹)  | 230 V | 0.318 N.m | 100 W | SGMPH-01A | SGDH-01AE-OY | - | XD-01-MN01 | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMPH-02A | SGDH-02AE-OY | - | XD-02-MN01 | - |
| | | 1.27 N.m | 400 W | SGMPH-04A | SGDH-04AE-OY | - | XD-04-MN01 | - |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMPH-08A | SGDH-08AE-S-OY | - | XD-08-MN | - |
| | | 4.77 N.m | 1500 W | SGMPH-15A | SGDH-15AE-S-OY | - | XD-15-MN | - |
| | | 0.637 N.m | 200 W | SGMPH-02D | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | 400 V | 1.27 N.m | 400 W | SGMPH-04D | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 2.39 N.m | 750 W | SGMPH-08D | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 4.77 N.m | 1500 W | SGMPH-15D | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| SGMGH (1500 min ⁻¹)  | 400 V | 2.84 N.m | 0.45 kW | SGMGH-05D | - | SGDH-05DE-OY | - | XD-05-TN |
| | | 5.39 N.m | 0.85 kW | SGMGH-09D | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 8.34 N.m | 1.3 kW | SGMGH-13D | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 11.5 N.m | 1.8 kW | SGMGH-20D | - | SGDH-20DE-OY | - | XD-20-TN |
| | | 18.6 N.m | 2.9 kW | SGMGH-30D | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 28.4 N.m | 4.4 kW | SGMGH-44D | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| | | 35.0 N.m | 5.5 kW | SGMGH-55D | - | SGDH-60DE-OY | - | - |
| | | 48.0 N.m | 7.5 kW | SGMGH-75D | - | SGDH-75DE-OY | - | - |
| | | 70.0 N.m | 11 kW | SGMGH-1AD | - | SGDH-1ADE-OY | - | - |
| | | 95.4 N.m | 15 kW | SGMGH-1ED | - | SGDH-1EDE-OY | - | - |
| SGMSH (3000 min ⁻¹)  | 400 V | 3.18 N.m | 1.0 kW | SGMSH-10D | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 4.90 N.m | 1.5 kW | SGMSH-15D | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 6.36 N.m | 2.0 kW | SGMSH-20D | - | SGDH-20DE-OY | - | XD-20-TN |
| | | 9.80 N.m | 3.0 kW | SGMSH-30D | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 12.6 N.m | 4.0 kW | SGMSH-40D | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| | | 15.8 N.m | 5.0 kW | SGMSH-50D | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| SGMUH (6000 min ⁻¹)  | 400 V | 1.59 N.m | 1.0 kW | SGMUH-10D | - | SGDH-10DE-OY | - | XD-10-TN |
| | | 2.45 N.m | 1.5 kW | SGMUH-15D | - | SGDH-15DE-OY | - | XD-15-TN |
| | | 4.9 N.m | 3.0 kW | SGMUH-30D | - | SGDH-30DE-OY | - | XD-30-TN |
| | | 6.3 N.m | 4.0 kW | SGMUH-40D | - | SGDH-50DE-OY | - | XD-50-TN |
| SGMBH (1500 min ⁻¹)  | 400 V | 140 Nm | 22 kW | SGMBH-2BD | - | SGDH-2BDE | - | - |
| | | 191 Nm | 30 kW | SGMBH-3ZD | - | SGDH-3ZDE | - | - |
| | | 236 Nm | 37 kW | SGMBH-3GD | - | SGDH-3GDE | - | - |
| | | 286 Nm | 45 kW | SGMBH-4ED | - | SGDH-4EDE | - | - |
| | | 350 Nm | 55 kW | SGMBH-5ED | - | SGDH-5EDE | - | - |

Note: 1. For servo motor and cables part numbers refer to ordering information at the end of this chapter
2. Refer to the servo drive chapter for drive options selection and detailed specifications

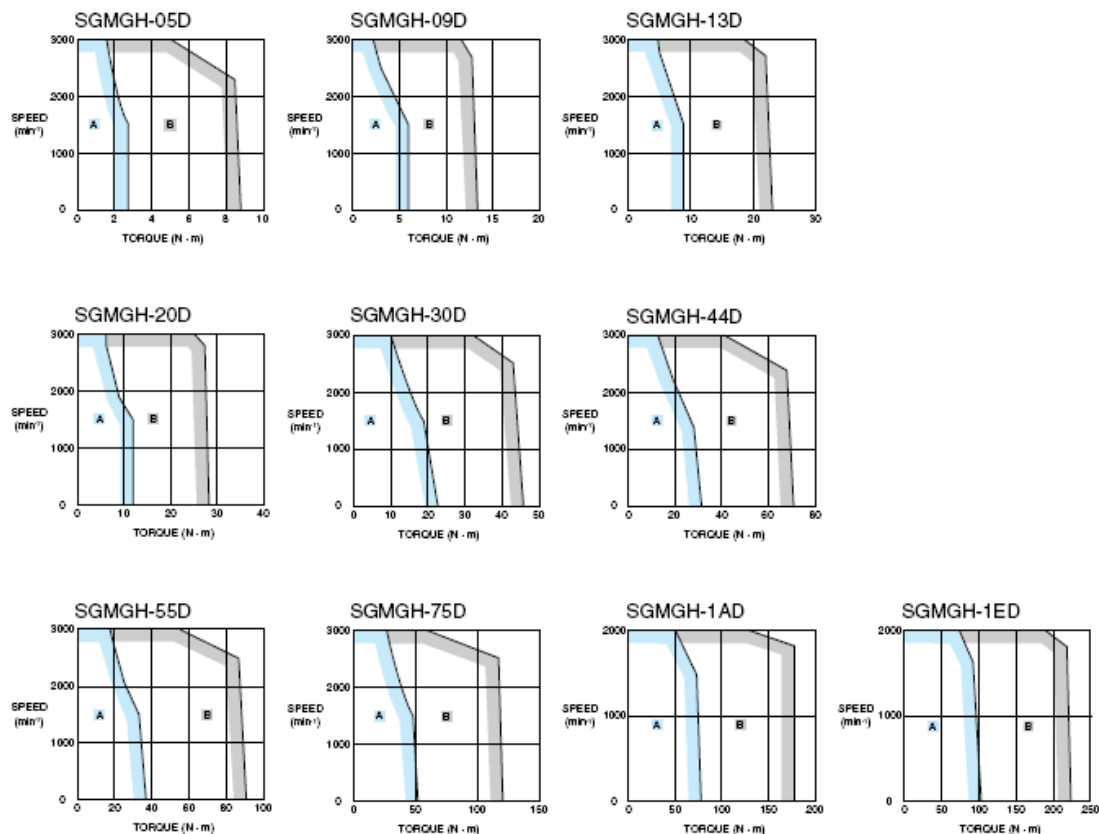
Type SGMGH, 400 V

Ratings and specifications

| Applied voltage | | 400 V | | | | | | | | | |
|--|-------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Servo motor model SGMGH- □ | | 05D□ | 09D□ | 13D□ | 20D□ | 30D□ | 44D□ | 55D□ | 75D□ | 1AD□ | 1ED□ |
| Rated output | kW | 0.45 | 0.85 | 1.3 | 1.8 | 2.9 | 4.4 | 5.5 | 7.5 | 11 | 15 |
| Rated torque | N·m | 2.84 | 5.39 | 8.34 | 11.5 | 18.6 | 28.4 | 35.0 | 48.0 | 70.0 | 95.4 |
| Instantaneous peak torque | N·m | 8.92 | 13.8 | 23.3 | 28.7 | 45.1 | 71.1 | 90.7 | 123 | 175 | 221 |
| Rated current | A (rms) | 1.9 | 3.5 | 5.4 | 8.4 | 11.9 | 16.5 | 20.8 | 25.4 | 28.1 | 37.2 |
| Instantaneous max. current | A (rms) | 5.5 | 8.5 | 14 | 20 | 28 | 40.5 | 55 | 65 | 70 | 85 |
| Rated speed | min ⁻¹ | 1500 | | | | | | | | | |
| Max. speed | min ⁻¹ | 3000 | | | | | | | | 2000 | |
| Torque constant | N·m/A (rms) | 1.64 | 1.65 | 1.68 | 1.46 | 1.66 | 1.82 | 1.74 | 2.0 | 2.56 | 2.64 |
| Rotor moment of inertia (J _M) | kg·m ² ×10 ⁻⁴ | 7.24 | 13.9 | 20.5 | 31.7 | 46.0 | 67.5 | 89.0 | 125 | 281 | 315 |
| Allowable load moment of inertia (J _L) | Multiple of (J _M) | 5 | | | | | | | | | |
| Rated power rate | kW/s | 11.2 | 20.9 | 33.8 | 41.5 | 75.3 | 120 | 137 | 184 | 174 | 289 |
| Rated angular acceleration | rad/s ² | 3930 | 3890 | 4060 | 3620 | 4050 | 4210 | 3930 | 3850 | 2490 | 3030 |
| Applicable encoder | Standard | Incremental encoder (17 bits) | | | | | | | | | |
| | Option | Absolute encoder (17 bits) | | | | | | | | | |
| Holding brake moment of inertia J | kg·m ² ×10 ⁻⁴ | 2.10 | | | | 8.50 | | | | 18.8 | 37.5 |
| Basic specifications | Time rating | Continuous | | | | | | | | | |
| | Insulation class | Class F | | | | | | | | | |
| | Ambient temperature | 0 to +40 °C | | | | | | | | | |
| | Ambient humidity | 20 to 80% (non-condensing) | | | | | | | | | |
| | Vibration class | 15 μm or below | | | | | | | | | |
| | Enclosure | Totally-enclosed, self-cooled, IP67 (excluding shaft opening) | | | | | | | | | |
| | Vibration resistance | Vibration acceleration 24.5 m/s ² | | | | | | | | | |
| | Mounting | Flange-mounted | | | | | | | | | |

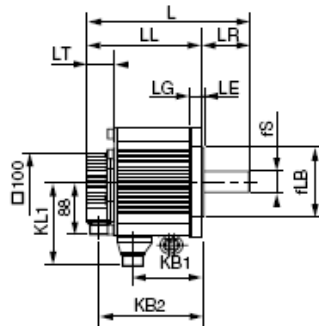
Torque-speed characteristics

(A : Continuous duty zone B : Intermittent duty zone)

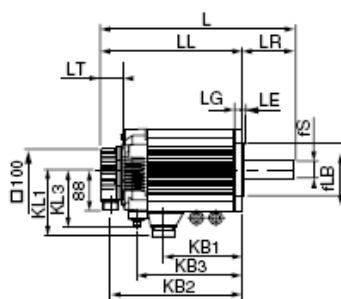


Type SGMGH (400 V)

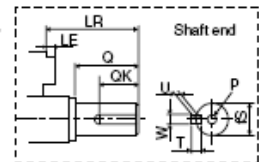
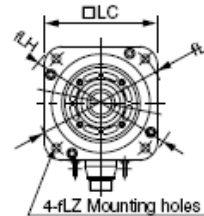
| Dimensions (mm) | Without brake | | | With brake | | | | | LR | L | KB1 | KL | Flange surface | | | | | | | Shaft end | | | | | | | Aprox. Mass (Kg) | | |
|------------------|---------------|-----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----------------|-------|-----|-----|----|-----|------|-----------|-----|----|----|----|-----|----------|-------------------|---------------|-----|
| Model | L | LL | KB2 | L | LL | KB2 | KB3 | KL3 | | T | | 1 | LA | LB | LC | LE | LG | LH | LZ | S | Q | QK | W | T | U | P | With-out brake | With brake | |
| SGMGH-05D□A6□-OY | 196 | 138 | 117 | 234 | 176 | 154 | 109 | 98 | 58 | 46 | 65 | 109 | 145 | 110 | 130 | 6 | 12 | 165 | 9 | 19 | 40 | 25 | 5 | 5 | 3 | M5 | 5.5 | 7.5 | |
| SGMGH-09D□A6□-OY | 219 | 161 | 140 | 257 | 199 | 177 | 132 | | | | 88 | | | | | | | | | | | | | | | x 12L | 7.6 | 9.6 | |
| SGMGH-13D□A6□-OY | 243 | 185 | 164 | 281 | 223 | 201 | 156 | | | | 112 | | | | | | | | | 22 | | | 6 | 6 | 3.5 | | 9.6 | 12 | |
| SGMGH-20D□A6□-OY | 245 | 166 | 144 | 296 | 217 | 195 | 137 | 123 | 79 | 47 | 89 | 140 | 200 | 114.3 | 180 | 3.2 | 18 | 230 | 13.5 | 35 | 76 | 60 | 10 | 8 | 5 | M12 | 14 | 19 | |
| SGMGH-30D□A6□-OY | 271 | 192 | 170 | 322 | 243 | 221 | 163 | | | | 115 | | | | | | | | | | | | | | | x 25L | 18 | 23.5 | |
| SGMGH-44D□A6□-OY | 305 | 226 | 204 | 356 | 277 | 255 | 197 | | | | 149 | | | | | | | | | | | | | | | | 23 | 28.5 | |
| SGMGH-55D□A6□-OY | 373 | 260 | 238 | 424 | 311 | 289 | 231 | | 113 | | 174 | 150 | | | | | | | | 42 | 110 | 90 | 12 | | | M16 | 30 | 35 | |
| SGMGH-75D□A6□-OY | 447 | 334 | 312 | 498 | 385 | 363 | 305 | | | | 248 | | | | | | | | | | | | | | | x 32L | 40 | 45.5 | |
| SGMGH-1AD□A6□-OY | 454 | 338 | 316 | 499 | 383 | 362 | 315 | 142 | 116 | 47 | 251 | 168 | 235 | 200 | 220 | 4 | 18 | 270 | 13.5 | 42 | 110 | 90 | 12 | 8 | 5 | M16 | 57.5 | 65 | |
| SGMGH-1ED□A6□-OY | 573 | 457 | 435 | 635 | 519 | 497 | 415 | | | 48 | 343 | | | | | | 20 | | | 55 | | | | 16 | 10 | 6 | M20 | 86 | 100 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | x 40L | | | |



Models without brake



Models with brake



Propriedades mecânicas do aço St 52-3

| Designação | Qualidade | Tensão de cedência f_y e tensão de rotura f_u em N/mm ² | | | | Alongamento mínimo em % (2) ($L_0 = 5,65/S_0$) | | | Energia absorvida mínima no ensaio de choque (J) (3) | |
|------------|-----------|--|-------|------------------|-------|---|------------------|-------------------|--|------------------|
| | | Espessura nominal em mm | | | | Espessura nominal em mm | | | Espessura nominal em mm | |
| | | $t \leq 40$ | | $40 < t \leq 80$ | | $3 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 63$ | $63 < t \leq 100$ | Temperatura °C | $10 < t \leq 15$ |
| | | f_y | f_u | f_y | f_u | | | | | |
| S235 | JR | 235 | 360 | 215 | 360 | 26 | 25 | 24 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| S275 | JR | 275 | 430 | 255 | 410 | 22 | 21 | 20 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| S355 | JR | 355 | 510 | 335 | 470 | 22 | 21 | 20 | 20 | 27 |
| | JO | | | | | | | | 0 | 27 |
| | J2 | | | | | | | | -20 | 27 |
| | K2 | | | | | | | | -20 | 40 |
| S450 | | 440 | 550 | 410 | 550 | | | | | |

Fig. 36 – Valores nominais da tensão de cedência e da tensão de rotura para o aço St 52-3 (S355JO) de acordo com a EN 10025-2

Dimensionamento da parede cilíndrica e fundo circular

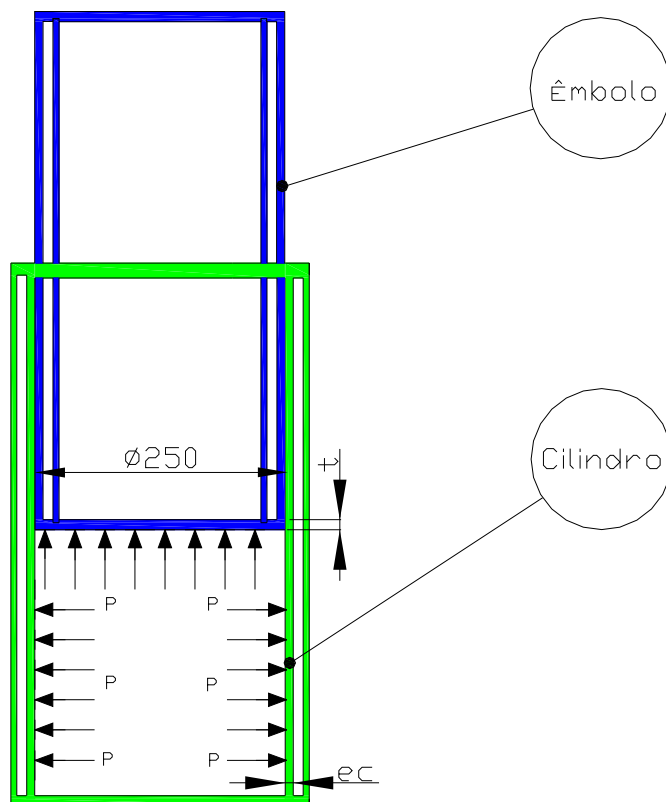


Fig. 37 – Corpo cilíndrico e fundo circular sujeito a pressão

Dimensionamento da parede cilíndrica de pequena espessura ($e_c < 16 \text{ mm}$):

$$e_c = \frac{p \cdot R}{\sigma_{adm} \cdot e - 0,6 \cdot p}$$

em que:

e_c = espessura do corpo cilíndrico;

p = pressão no interior da câmara;

R = raio interior do corpo cilíndrico;

σ_{adm} = tensão admissível;

e = eficiência de junta.

Substituindo pelos respectivos valores obteve-se:

e_c = espessura do corpo cilíndrico

$p = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$

$R = 125 \text{ mm}$

$\sigma_{adm \text{ ST } 52} = \sigma_{y \text{ ST } 52} / F. S. = 355 \text{ MPa} / 1,5 = 236 \text{ MPa}$

e = eficiência de junta sem costura = 1

$$e_c = \frac{1 \times 125}{236 \times 1 - 0,6 \times 1}$$

$$e_c = 0,53mm$$

A espessura mínima do corpo cilíndrico, e_c , é de 0,53mm.

Dimensionamento do fundo circular:

$$t = d \sqrt{\frac{N \cdot p}{\sigma_{adm}}}$$

em que:

t = espessura do fundo circular;

p = pressão no interior da câmara;

d = diâmetro interior do fundo circular;

σ_{adm} = tensão admissível;

N = factor de ligação.

Substituindo pelos respectivos valores obteve-se:

t = espessura do fundo circular;

$p = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$;

$d = 250 \text{ mm}$;

$\sigma_{adm \text{ ST } 52} = \sigma_{y \text{ ST } 52} / F. S. = 355 \text{ MPa} / 1,5 = 236 \text{ MPa}$

N = admitindo um factor de ligação para o caso mais desfavorável = 0,33.

$$t = 250 \sqrt{\frac{0,33 \times 1}{236}}$$

$$t = 9,34mm$$

A espessura mínima do fundo circular, t , é de 9,34mm.